



Università di Napoli Federico II

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE RICERCA AMBIENTE (CIRAM)

TESI DI DOTTORATO IN

ANALISI E MODELLAZIONE DEI SISTEMI AMBIENTALI

XII CICLO

ANALISI A SCALA REGIONALE DEI SISTEMI AMBIENTALI INTERESSATI DA SCENARI DI MULTIRISCHIO IDROGEOLOGICO

in Regione Campania
ai fini della Protezione Civile

*Hydrogeological Disaster Multirisk Hotspots:
Methods and Identification, in Campania Region (Southern Italy)*

Candidato
Dr. Geol. Pompeo Coico

Tutor
Prof. Geol. Tommaso De Pippo

Co-tutor
Prof. Geol. Domenico Guida

Revisore
Prof. Geol. Francesco Dramis

*A mio figlio Fabrizio
e a mia moglie Patrizia*

*in ricordo del professor
Gianmaria Iaccarino*

Ringrazio i professori

Tommaso De Pippo

Domenico Guida

e Francesco Dramis

*per il grande supporto scientifico
ed umano*

ringrazio, inoltre, il dottor.

Michele Palmieri

*responsabile della Protezione Civile
della Regione Campania (2006 – 2008,
che ha creduto nell'importanza
di questa ricerca e mi ha sostenuto.*

Pompeo Coico

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	11
2. DEFINIZIONI, CASI STORICI E STATO ATTUALE DELLE CONOSCENZE	17
2.1. DEFINIZIONI DI SBARRAMENTO FLUVIALE DA FRANA (LANDSLIDE DAM).....	17
2.2 CASI STORICI DI SBARRAMENTI FLUVIALI DA FRANA (LANDSLIDE DAMS)	18
2.3. CLASSIFICAZIONE DEGLI SBARRAMENTI FLUVIALI DA FRANA.....	26
2.4 TIPOLOGIA DEGLI SBARRAMENTI FLUVIALI DA FRANA	28
2.5 FATTORI PREDISPONENTI E CAUSE DETERMINANTI LA FASE DI INNESCO E MOBILITAZIONE	29
3. L'AREA DI STUDIO.....	34
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, FIOGRAFICO E CLIMATICO	34
3.2 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE.....	39
3.3. CARATTERI INSEDIATIVI E USO DEL SUOLO	43
4. ACQUISIZIONE, SISTEMAZIONE E RAPPRESENTAZIONE DEI DATI	46
4.1 CARTOGRAFIA DI BASE E MODELLO DIGITALE DI TERRENO	46
4.1.1 CARTOGRAFIA DI BASE ALLA SCALA 1:250.000 E 1:25.000	46
4.1.2 CARTOGRAFIA DI BASE SCALA 1:5.000	47
4.2 CARTOGRAFIA TEMATICA E BANCA DATI A SCALA REGIONALE.....	52
4.2.1 INVENTARIO DEI SISTEMI FRANOSI.....	53
4.2.2 CARTA GEOLITOLOGICA	62
4.2.3 CARTA GEOMORFOLOGICA	63
4.2.4. GLI AMBITI MORFOLOGICI SIGNIFICATIVI: LA CODIFICA PFAFSTETTER DEI BACINI IDROGRAFICI	73
4.2.5. CODIFICA DEI BACINI IDROGRAFICI DELLA REGIONE CAMPANIA E SETTORI IDROGRAFICI.	76
4.3. CARTOGRAFIA E BANCA DATI DELLE FRANE DI SBARRAMENTO FLUVIALE.....	82
4.3.1. METODOLOGIA DI RILEVAMENTO DELLE FRANE CHE INDUCONO SBARRAMENTI FLUVIALI A SCALA DI DETTAGLIO.....	82
4.3. DESCRIZIONI DEI CASI DI STUDIO MAGGIORMENTE SIGNIFICATIVI.....	91
4.4. STRUTTURA ED ORGANIZZAZIONE DEI DATI	108
4.4.1. IL DATASET	109
4.4.2. IL SUB – DATASET RELATIVO AI CASI CAMPIONE DI SISTEMI FRANOSI CHE INDUCONO SBARRAMENTI FLUVIALI ..	112
4.3.1. STRUTTURAZIONE DEI DATABASE NUMERICI RELATIVI ALLE LANDSLIDE DAMS RILEVATE	113
5. METODOLOGIA DI ANALISI ADOTTATA	120
5.1. L'ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI (PCA)	120
5.2. ANALISI A LIVELLO REGIONALE (TARGET AREA ANALYSIS).....	123
5.2.1. ANALISI STATISTICA APPLICATA AI SISTEMI FRANOSI.....	124
5.2.1. SCELTA DELLE COMPONENTI PER I SISTEMI FRANOSI	128
5.2.2. PCA APPLICATA ALL'INSIEME DEI SISTEMI FRANOSI E RISPETTIVI SETTORI IDROGRAFICI	133
5.2.3. SCELTA DELLE COMPONENTI PRINCIPALI	137
5.3. ANALISI A LIVELLO LOCALE (TRAINING AREA ANALYSIS)	141
5.2.1. CORRELAZIONI TRA LE FRANE E GLI AMBITI MORFOLOGICI SOTTESI	141
5.4. ANALISI COMPARATIVA (TRAINING-TARGET ANALYSIS)	147

6. DISCUSSIONE	152
6.1. ANALISI GEOMORFOLOGICA DESCRITTIVA.....	152
6.2. ANALISI GEOMORFOLOGICA QUANTITATIVA.....	155
6.3. CONFRONTO DEI VALORI RELATIVI AI FATTORI PREDISponentI.	167
6.4. POSSIBILI SCENARI D'EVENTO.....	172
7. CONCLUSIONI	177
7.1. LIMITAZIONI DELLA RICERCA	179
7.2. POSSIBILI SVILUPPI DELLA RICERCA.....	179
APPENDICE A.....	180
CARTOGRAFIE RELATIVE ALLE LANDSLIDE DAMS NON COMPRESSE NEL TESTO.....	181
BIBLIOGRAFIA.....	206

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1.2: Diagramma di flusso della metodologia utilizzata.	15
Fig. 2.1: Schema semplificato delle frane che inducono sbarramenti fluviali ed elementi geomorfologici complementari.	18
Fig. 2.2. Vista della Usoi landslide dam and Lake Sarez.	19
Fig. 2.3. Landslide Dams di Gros Ventre e relativo materiale di outburst.	20
Fig. 2.5: Inventario delle Landslide Dams in Svizzera (Bonnard, 2006).	21
Fig. 2.6: Lago di frana di Scanno (Scarascia G. et al., 2007).	22
Fig. 2.7: Lago Pontino provocato dalla Landslide Dam di Quarto sul Savio.	23
Fig. 2.8: Distribuzione del numero di vittime in base ai tre fattori incidenti: frana, inondazione a monte ed inondazione a valle dello sbarramento(da Ermini & Casagli, 2002).	23
Fig. 2.9: Frana di sbarramento della Val Pola avvenuta nel 1987.	24
Fig. 2.10: La frana di sbarramento in loc. Covatta, valle del f. Biferno (Molise), nel 1996.	25
Fig.2.11: Classificazione degli sbarramenti da frana. I – VI Costa & Schuster (1988), VII – IX Hermanns et alii (2006) . (da Hermanns et alii, 2006).	27
Fig. 2.12.tipologie di frane che generano sbarramenti (da Costa & Schuster, 1988; Schuster, 1995; Ermini & Casagli, 2003).	28
Fig. 2.12: Tipi di frane che hanno prodotto sbarramenti d'alveo in relazione alla stabilità del fronte della diga naturale. (Ermini & Casagli, 2003)	29
Fig. 2.13: Distribuzione a scala globale di 350 landslide dam inventariate su dati dell'US Geological Survey (dati topografici) e del Naval Research Laboratory (distinzione delle placche tettoniche). Da Ermini & Casagli, 2003.	30
Fig. 2.14: Suddivisione degli sbarramenti in base alla litologia (da Ermini & Casagli, 2002).	30
Fig. 2.2.1. Cause determinanti l'insorgere dei fenomeni franosi.	33
Fig.2.2.2. Tempo che intercorre tra l'instaurarsi dello sbarramento e la rottura (da Ermini & Casagli, 2002-2003) basato su 205 casi di studio.	33
Fig.3.1 : Immagine Landsat della Regione Campania	35
Fig. 3.2: Articolazione fisiografica del territorio campano	36
Fig. 3.3: Idrografia completa della regione Campania	37
Fig. 3.4: Carta delle Regioni Climatiche della Regione Campania	38
Fig. 3.5: Assetto stratigrafico-strutturale della Campania. Legenda: Piane costiere quaternarie e bacini intermontani; 2. Apparati vulcanici peritirrenici; 3. Bacini con successioni clastiche plio-quaternarie di piggy back ed avanfossa; 4. Aree collinari e montuose con successioni pelitiche e terrigene terziarie di origine interna (Liguridi e Sicilidi); 5. Unità carbonati che derivanti dalla deformazione della Piattaforma Appenninica (Piattaforme Campano-lucane e Campano-abruzzese, Auctorum); 6. Successioni bacinali lagonegresi-molisane mesozoiche prevalentemente; 7. Sequenze carbonatiche appule.	41
Fig. 3.6: Assetto stratigrafico-strutturale dell'Appennino.	41
Fig. 3.6: Carta geologico-strutturale della Campania semplificata. Legenda: 1. Depositi clastici detritico-alluvionali quaternari, a luoghi lacustri e marini; 2. Vulcaniti e vulcanoclastiti; 3. Successioni clastiche plio-quaternarie in facies marina, fluvio-lacustre e di transizione; 4. Successioni terrigene arenaceo-conglomeratiche appartenenti al Gruppo del Cilento; 5.Successioni prevalentemente Pompeo Coico – Il Multirischio Idrogeologico in Regione Campania	

terziarie argilloso-marnose di origine interna (Liguridi, Sicilidi e “ad affinità sicilide”);6. Unità tettoniche carbonatiche meso-cenozoiche di piattaforma carbonatica, in facies di laguma o margine.7. Faglie; 10. Apparat vulcanici.	42
Fig.3.4.Carta amministrativa dei comuni e delle provincie	43
Fig. 3.5. Carta della principale rete dei trasporti e dei centri abitati	44
Fig. 3.6. Carta delle Aree Urbane della Campania	45
Fig. 4.1. Carta topografica in scala 1:250.000 della Regione Campania.	47
Fig. 4.2. Carta topografica in scala 5000, elemento n.468031 “Calabritto”, della Regione Campania.	48
Fig. 4.3: Modello Digitale del Terreno (DEM: Digital Elevation Model, Cella 20x20) della Regione Campania, Scala 1:250.000; Elaborazione in ambiente raster; Programma ArcGIS ; Fonte: CTR Regione Campania.	49
Fig. 4.4: Carta delle classi di acclività significative per l’intero territorio campano.	50
Fig. 4.5: Carta delle classi di acclività significative per gli approfondimenti a scala locale.	51
Fig.4.6. Carta inventario dei Sistemi Franosi in funzione dell’intensità attesa	55
Fig. 4.7: Schema della Classifica Tassonomica dei Fenomeni Franosi (da Guida D. e tal.(1995).	57
Fig. 4.8: Carta del Sistema Franoso di Serra dell’Acquara, presso Senerchia. Per gentile concessione del prof. D. Guida.	58
Fig. 4.10: Carta dei Sistemi Litologici della Campania	62
Fig. 4.11: Carta delle faglie principali della regione Campania (Concessione Prof. Guida).	63
Fig. 4.12: Carta delle Landforms della regione Campania.	64
Fig. 4.13: Stralcio della Carta delle Landforms relativo al settore territoriale degli “Alburni”.	65
Fig. 4.14: Stralcio della Carta delle Landforms relativo al settore territoriale “Somma-Vesuvio”.	66
Fig. 4.15: Carta dei Sistemi Morfologici e relativa tabella.	67
Fig. 4.16: Stralcio della Carta dei Sistemi Morfologici del settore territoriale degli “Alburni”	68
Fig. 4.17: Stralcio della Carta dei Sistemi Morfologici del settore territoriale “Somma-Vesuvio”.	69
Fig. 4.18: Schema del sistema informatico utilizzato (Dramis et al., 2010, in press).a. Livelli informativi; b. Livello informativo alla scala 1:50.000; Livello informativo alla scala 1:25.000; Livello informativo alla scala 1:5.000	71
Fig. 4.19: Carta Lito-morfo-climatica	72
Fig. 4.20: Schema di classificazione dei bacini secondo Pfafstetter.	75
Fig.4.21. Carta dei Settori idrografici della Campania (Fonte: Settore Protezione Civile)	77
Fig.4.22. Codifica Pfafstetter di primo livello	78
Fig.4.22: Tabella relativa alla codifica Pfafstetter primo livello per la Regione Campania	79
Fig.4.23. Codifica Pfafstetter di secondo livello: Il bacino del fiume Volturno	80
Fig.4.24. Codifica Pfafstetter di terzo livello: Il bacino del fiume Volturno	80
Fig.4.25. Codifica Pfafstetter di quarto livello: Il bacino del fiume Tammaro	81
Fig.4.22. Ubicazione degli sbarramenti fluviali individuati	83
Fig.4.23.1. tabella riassuntiva generale degli sbarramenti da frana individuati	86
Fig. 4.23.2. parametri geometrici delle Landslide Dam	87

Fig. 4.23.4. parametri geometrici dei bacini sottesi alle frane	89
Fig. 4.23.5. parametri geometrici delle aree sub pianeggianti a monte degli accumuli di frana	89
Fig.4.24. modello 3d della frana di Serre delle Forche	92
4.24.1. Foto dell'area di accumulo del sistema franoso di Serre delle Forche	92
Fig.4.25. frana di Serre delle forche, zona di accumulo	93
Fig.4.26. Legenda della cartografia di dettaglio dei sistemi franosi che inducono sbarramenti fluviali (Carbone et al., 2007)	93
Fig. 4.27. Il sistema Franoso di Serre delle forche (ID 36) cartografato su base topografica in scala 1:5000	94
Fig.4.28.Frana di loc. Castello nel comune di San Giorgio La Molara (BN)	95
Fig.4.29.modello tridimensionale della frana di loc. Castello	96
Fig.4.30. Frana di loc. Castello: particolare dell'area di accumulo.	96
Fig. 4.31.Sistema franoso di loc. De Angelis (ID 29), comune di Paduli, (BN).	97
Fig.4.32.Il sistema franoso di loc. Masseria De Angelis (ID 30), comune di San Giorgio La Molara, (BN).	98
Fig.4.33.I sistemi Franosi di Pesco Sannita (ID 23) e Pago Veiano (ID 04).	100
Fig. 4.34.Foto aerea post mobilitazione del 2006. A destra la scomposizione del sistema in elementi geomorfologici semplici (da Coico et al., in prep.)	102
Fig. 4.34.Vista frontale del cumulo di frana di Montaguto (AV)	103
Fig.4.34.Evoluzione del sistema franoso di Montaguto in seguito alla mobilitazione del 2006	104
Fig. 4.37.il ponte della linea Ferroviaria sul torrente Fiumicello. In lontananza sono visibili i gabbioni devianti dal cumulo che tende ad ostruire l'alveo.	105
Fig. 4.38.Particolare dell'area d'innescio.	105
Fig. 4.39. Piccolo lago a monte dell'imbocco della galleria frana	106
Fig. 4.40. Fenomeni di instabilità sul versante opposto all'accumulo	107
Fig.4.41.Organizzazione dei dati strutturati a scala regionale	108
Fig.4.42.Organizzazione dei dati strutturati a scala locale (1:5000.)	109
Tabelle 4.4,3 -4, -5.Codifica delle variabili di sistema.	111
Fig.4.2.1. Struttura dataset dei dati ed analisi multiscalarare delle componenti idro-geomorfologiche.	112
Fig.5.1. Classificazione della forza dell'associazione sulla base dei valori di r .	123
Fig.5.2: Riepilogo dei casi.	124
Fig.5.3.Riepiloghi dei casi in rapporto alle aree (esprese in mq) dei sistemi franosi.	125
Fig.5.4. Statistiche descrittive	125
Fig.5.5. Tabella di Comunalità tra le variabili	126
Fig. 5.6. Matrice di correlazione tra le variabili.	127
Fig.5.7. Varianza totale spiegata relativa ai sistemi franosi.	128
Fig.5.8. Grafico degli autovalori.	128

Fig.5.10-11-12. Grafici che rappresentano i coefficienti di correlazione (component loadings) tra le variabili osservate e le tre componenti principali.	130
Fig. 5.13-14-15-16. Distribuzione dei sistemi franosi rispetto alle component principali. Lo zero corrisponde alla media calcolata.	132
Fig.5.17.Statistiche descrittive	133
Fig.5.18. Matrice di correlazione tra le variabili.	134
Tab 5.19. Comunalità tra le variabili	135
Tab 5.20. Varianza totale spiegata	135
Fig.5.21.Grafico decrescente degli autovalori	136
Fig. 5.21. matrice delle prime tre componenti principali	137
5.22 -23-24. Coefficienti di correlazione tra variabili osservate e tre componenti principali.	139
5.25-26-27. Grafici di correlazione tra le component principali su 133 settori idrografici.	140
Fig.5.28. Correlazione lineare tra area del sistema franoso e area del bacino sotteso.	141
Fig.5.29. Correlazione lineare tra l'estensione longitudinale e l'area del sistema franoso	142
Fig.5.30. Indice di rilievo: correlazione tra dislivello frane e dislivello del bacino sotteso	142
Fig.5.31. Indice di estensione: correlazione lineare tra lunghezza dei sistemi franosi e lunghezza dei bacini sottesi	143
Fig.5.32. Correlazione lineare tra lunghezza e l'area delle frane.	143
Fig.5.33. Indice di forma: Correlazione lineare tra area bacino ed area della relativa frana	144
Fig.5.34. Indice di forma: Correlazione lineare tra area bacino ed area sistema franoso.	144
Fig.5.35. Correlazione tra area del versante opposto instabile e l'area del sistema franoso. Sono stati evidenziati in rosso i casi la cui instabilità è dovuta a fenomeni di erosione.	145
Fig.5.36. Correlazione tra l'area del lago e l'area del sistema franoso di sbarramento.	145
Fig.5.36. Correlazione tra l'area dell'outburst e l'area del lago relativo.	146
Fig.5.37. Correlazione tra l'area dell'outburst e l'area del sistema franoso relativo	146
Fig. 5..37- 39: Analisi dei sistemi franosi in relazione alle landslide dams	148
Figg. 5.40-5.42. Proiezioni delle correlazioni tra componenti principali dei sistemi franosi con evidenziate le landslide dams rilevate.	150
Figg. 5.43-5.45. Proiezioni delle correlazioni tra le componenti principali dei Sistemi franosi – Settori idrografici con evidenziate le landslide dams rilevate.	151
Fig. 6.1.Tabella di frequenza relativa alla distribuzione delle tipologie di Landslide Dams.	153
Fig. 6.2.Tabella alla classificazione dei casi di studio rilevati.	154
Fig.6.3.matrice dei componenti principali dei sistemi franosi	155
Fig.6.4.matrice dei componenti principali dei settori idrografici caratterizzati dai sistemi franosi	156
Figg. 6.3- 6.6. Grafici ottenuti attraverso l'operazione di filtraggio. In verde l'area di selezione del campo relativo alle landslide dams per l'ulteriore operazione di filtraggio.	158
Fig. 6.7. Distribuzione dei sistemi franosi risultante dalla prima operazione di filtraggio.	159
Fig. 6.13. Sistemi franosi che deviano il corso fluviale (Id=5385 e 5289) a nord dell'abitato di Melito Irpino (AV)	164

Fig. 6.14. Insieme di sbarramenti potenziali (tipo X della classificazione proposta nella presente ricerca) in un bacino compreso tra l'abitato di Roccagloriosa e Celle Di Bulgaria (SA)	165
Fig. 6.15. Sbarramento potenziale (id= 9143) situato a nord – ovest dell'abitato di Fragneto L'Abate (BN). Oltre alla deviazione fluviale, si riconosce una superficie pianeggiante a monte dell'accumulo ed una conoide alluvionale (runout).	166
Fig.6.13. Confronto tra le landslide dams ed i sistemi franosi residui in relazione alle regioni climatiche (Blasi et al., 2000).	167
Fig.6.14. Confronto tra landslide dams e sistemi franosi residui in relazione ai complessi litologici.	168
Fig.6.15. Confronto tra le landslide dams ed i sistemi franosi residui in relazione ai morfotipi	168
Fig.6.16. Confronto tra le landslide dams ed i sistemi franosi residui in relazione all'uso del suolo	169
Fig.6.16. Confronto tra i valori del runout calcolati con metodo statistico ed il corrispettivo valore di outburst rilevato sul campo.	172
Fig.6.17. Grafico riassuntivo delle differenze, in percentuale tra il runout calcolato e la lunghezza dell'outburst.	173
Fig. 6.18..- Statistiche descrittive	174
Fig.6.19.Istogramma di frequenza dell'area degli sbarramenti potenziali	174
6.20.Distribuzione di frequenza del runout relativo agli sbarramenti fluviali	175
Fig. 6.21.L'outwash fan di Serre Delle Forche (ID 36).	176

1. Introduzione

La Campania è fra le regioni italiane quella maggiormente esposta a disastri naturali (Regione Campania, a cura di F. Barberi, 2006). Le particolari condizioni geodinamiche e geomorfologiche configurano scenari di dissesti sia di area vasta sia locali legati all'interazione di due o più tipologie di pericolosità, sia geologiche (terremoti, vulcani, bradisismi), geomorfologiche (frane, alluvioni, erosioni) e climatiche (siccità e incendi). Tali pericolosità interattive impattano sull'estrema vulnerabilità del sistema insediativo, produttivo ed infrastrutturale, caratterizzato da alta concentrazione di popolazione nelle aree più pericolose, producendo situazioni di rischio che si sovrappongono. In regione Campania, come in altre aree del mondo, si sommano, interagendo con varie modalità, ad esempio:

- **Rischio Vulcanico Vs. Rischio Industriale:** Eruzioni → Piogge di cenere → collasso di infrastrutture industriali → rischio ambientale;
- **Rischio Vulcanico Vs. Rischio Idrogeologico:** Eruzione → collasso della colonna auto-sostenuta → (a breve termine) Flussi piroclastici e *base surges* lungo i fianchi del cono vulcanico, (a lungo termine) Frane di colata rapida lungo i versanti coperti da depositi da caduta;
- **Rischio Sismico Vs. Rischio Frana:** Terremoto → riattivazione di frane di crollo, ribaltamento, scorrimento rotazionale – colata;
- **Rischio Frana Vs. Rischio Alluvioni:** Frana di Colata di Terra → Sbarramento Fondovalle → Creazione di Lago di Frana-Probabile Tracimazione → “*Dam Break*” → Distruzione di Infrastrutture;

In particolare, la valutazione degli effetti sull'incolumità pubblica e privata dei fenomeni franosi a seguito di eventi pluviometrici particolarmente intensi, con particolare riferimento ai fenomeni di colata rapida di fango, e dei fenomeni di esondazione fluviali, ha introdotto, nel linguaggio normativo, il termine di “rischio Idrogeologico”, sebbene esso non sia del tutto rigoroso dal punto di vista scientifico e terminologico.

Le attività poste in essere dalle Autorità di Bacino regionali, interregionali e nazionale ai sensi della L.365/00, in attuazione della Legge Quadro sulla Difesa del Suolo (L. 183/89), hanno consentito l'individuazione e perimetrazione sistematica delle aree a pericolo e rischio da frana e di alluvione sull'intero territorio nazionale.

Ciò è stato effettuato con particolare impegno anche sui territori di competenza delle Autorità di Bacino della regione Campania (Fig.1.1), viste le ripetute emergenze idrogeologiche ivi succedutesi a partire dal 1997 (Pozzano, 1997; Sarno, 1998; Cervinara, 1999; Nocera, 2005; Ischia e Montaguto, 2006).

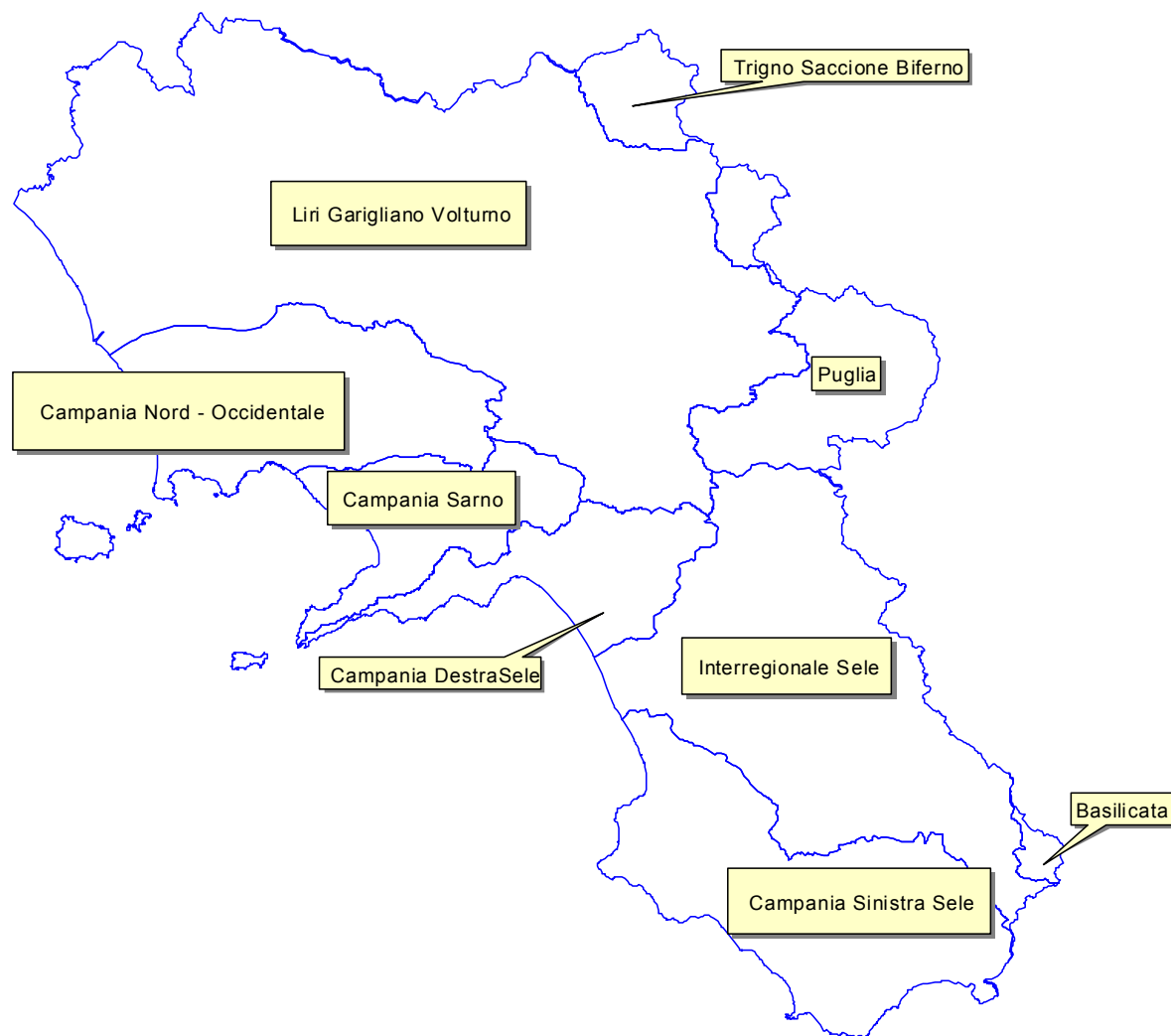


Fig. 1.1.: Aree di competenza delle Autorità di Bacino della Campania.

Ciò ha consentito di pervenire, attraverso la redazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, ad un quadro completo di inventario dei dissesti di natura idrogeologica

passati, attuali, alla zonazione delle aree predisposte a dissesti, alla delimitazione delle aree a rischio, alla pianificazione e programmazione degli interventi di mitigazione ed all'imposizione della relativa normativa di salvaguardia (G.U.I. 14 agosto 2006).

La ricaduta di questo enorme sforzo di pianificazione ha posto alcuni problemi di trasferimento degli strumenti di pianificazione territoriale in termini di pianificazione delle attività di protezione civile a scala regionale, circa la programmazione delle azioni di previsione e prevenzione dei disastri naturali di interesse regionale e la gestione delle risorse durante le fasi emergenziali.

Alcuni di questi problemi derivano dal diverso approccio metodologico adottato dalle Autorità di Bacino di livello nazionale, interregionale e regionale, dalla distinzione tematica e normativa tra pericolosità geomorfologica di versante (frane) e della rete idrografica (alluvioni), disomogeneità ed inadeguata valutazione dei fattori di vulnerabilità e di valore, impossibilità di ricavare dalle perimetrazioni di pericolosità e rischio i più probabili scenari di evento da assumere a riferimento per le attività di protezione civile, mancata definizione del sistema ambientale e territoriale coinvolto direttamente e indirettamente dagli eventi attesi di maggiore intensità.

La vastità e complessità delle problematiche poste non consente di prevenire, in breve termine e con risorse limitate, alla loro risoluzione sistematica sull'intero territorio regionale, tenendo anche conto di un quadro di competenze istituzionali in fase di aggiornamento e revisione.

L'esperienza maturata durante le fasi emergenziali avvenute nell'ultimo decennio sul territorio regionale da parte di tutti i soggetti coinvolti (Università, Enti di ricerca, Istituzioni e strutture di protezione civile centrali e periferiche) consentono di prospettare un percorso tecnico-scientifico, istituzionale e normativo articolato in fasi di approfondimento successive, tale da consentire di pervenire ad una gestione "ottimizzata" delle emergenze di livello regionale in base ai dati disponibili ed alle procedure progressivamente implementabili.

Una di queste problematiche specifiche da ottimizzare è certamente il superamento della distinzione tematica e normativa tra pericolosità geomorfologica di versante (frane) e della rete idrografica (alluvioni), nel quadro di un più generale approccio scientifico e normativo che tenga conto di approcci consolidati a livello internazionale basati sull'analisi multi rischio.

Tali approcci multirischio sono stati condotti dalla World Bank e dal CIESIN (Center of International Earth Science Information Network) del Centro per la Ricerca sulla

Pericolosità ed il Rischio (CHHR) della Columbia University, sin dal 2001 con il progetto “Hotspots” (Dillon M. et al., 2005; Arnold M. et al.2006.).

Il progetto nasce con il fine di sviluppare un’analisi *multi-hazard* del rischio a scala globale, allo scopo di identificare i punti “critici” ad elevato rischio disastri. Esso si prefigge di selezionare informazioni e metodologie per definire priorità per la riduzione dei rischi da disastro e per le decisioni nel campo di investimenti per lo sviluppo. La ricerca ha valutato i rischi secondo due variabili: la mortalità e le perdite economiche. La vulnerabilità è stata stimata utilizzando i relativi tassi, specifica per ciascun *hazard*, ricavati dai database della Banca Mondiale. Dai risultati ottenuti, si evince che circa 25 milioni di kmq, per una popolazione di 900 milioni di persone sono esposti ad almeno due o più *hazards*.

Oggetto del lavoro di tesi, pertanto, è la definizione di un approccio geomorfologico quantitativo adeguato al livello regionale di supporto all’impostazione degli scenari di evento che possono indurre situazioni di multi-rischio idrogeologico (interazione fra la pericolosità di versante e quella di fondovalle) in essere o attesi.

L’area di riferimento dello studio è l’intero territorio della Regione Campania, così come mostrato sulla Fig.1.

Gli obiettivi posti sono stati perseguiti attraverso la raccolta e sistematizzazione dei dati effettuata in più fasi successive:

- 1) la revisione e cartografazione dei dati di base disponibili relativi ai fenomeni franosi del territorio regionale, effettuando sistematiche analisi aerofotogrammetriche sull’intera popolazione, tarate da opportuni rilevamenti di campo originali sugli eventi di maggiore interesse o problematicità;
- 2) La loro reinterpretazione in termini di protezione civile, con l’individuazione dei sistemi territoriali ed ambientali che costituiscono le aree di maggiore attenzione (*Hotspots*) per la vastità ed intensità degli eventi attesi, per i danni più probabili prospettati e per le ricadute in termini di risorse umane, materiali e finanziarie mobilizzabili.

La metodologia adottata per l’analisi dei dati e la loro valorizzazione in termini di pericolosità è stata attuata attraverso delle procedure statistiche consolidate nella letteratura scientifica di settore (Carrara et al., 1983, 1991, 1992, 1995), che utilizza un modello statistico in due fasi di studio:

- 1) Analisi di dettaglio delle “*training areas*”, cioè aree di particolare approfondimento in cui ricadono le fenomenologie di interesse;

- 2) Estensione dell'analisi alle “*target areas*”, in altre parole agli ambiti geomorfologici significativi relativi all'intera popolazione di eventi che possono evolvere secondo i meccanismi verificati nelle *training areas*.
- 3) Analisi comparativa tra *training areas* e *target areas* ed impostazione di scenari evolutivi che prospettano modalità, intensità e vastità delle situazioni di multi-rischio idrogeologico;

L'obiettivo dello studio, quindi, non è solo l'interazione tra situazioni.

Che possono indurre combinazioni di rischio frana e rischio alluvioni, ma anche la definizione degli ambiti territoriali dove tali situazioni si sono manifestate e si possono manifestare (Fig.1.2).

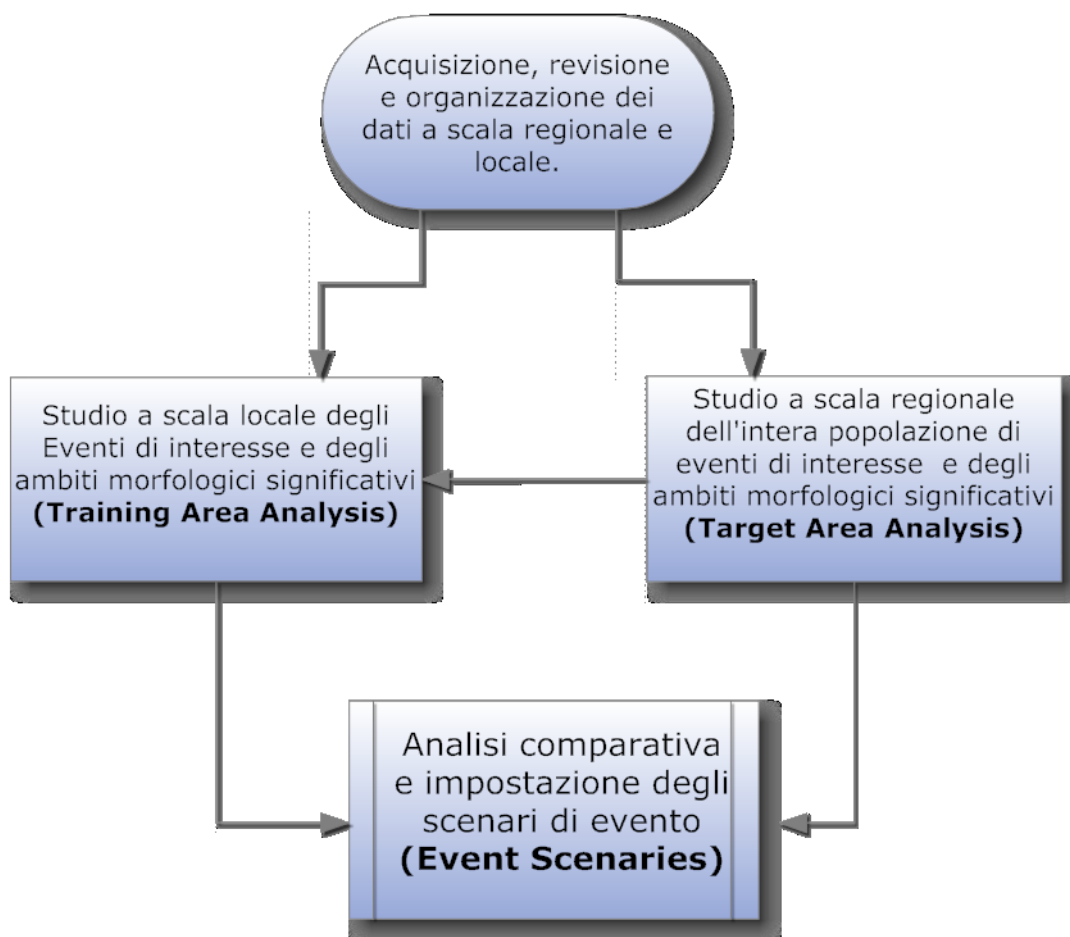


Fig. 1.2: Diagramma di flusso della metodologia utilizzata.

L'attività di ricerca sono state incentrate sullo studio dei sistemi franosi, più o meno complessi, che presentano possibilità di interazione con la dinamica fluviale del fondovalle

relativo, modificandone la conformazione ed il regime ed inducendo processi evolutivi “misti” (Korup, 2005).

Questa interazione riguarda l'ostruzione del normale deflusso di un corso d'acqua di fondovalle da parte di un movimento di massa di versante. L'ostruzione può essere totale o parziale ed in entrambi i casi questo evento può formare un lago di sbarramento, noto nella letteratura scientifica con il termine “*Landslide Dam*” (Costa & Schuster, 1988).

Lo sbarramento da frana costituisce un processo geomorfico non ancora ben conosciuto (Korup, 2002), poiché coinvolge sia i processi legati alla dinamica spaziotemporale dei versanti sia a quella fluviale e materiali che derivano dalla loro interazione (Ermini & Casagli, 2002).

Ne consegue che la modellazione fisicamente basata di questi fenomeni risulta particolarmente complessa (Casagli & Ermini, 1998), in quanto risulta difficile modellare un processo che coinvolge dinamiche sia di versante sia d'alveo mediante meccanismi sia siano allo stesso tempo semplificati e rigorosi.

Mentre esistono modelli per simulare il fenomeno della rottura dello sbarramento naturale creato da un corpo di frana (Coultard T. et al., 2008), il fenomeno dell'ingresso dei sedimenti in alveo e dell'occlusione (probabile, totale o parziale) risulta ancora oggi scarsamente studiato.

La ricerca è stata articolata in fasi secondo vari livelli d'indagine elencati brevemente di seguito e descritti in dettaglio nelle sezioni successive.

La prima fase ha riguardato la raccolta e l'analisi delle fonti bibliografiche provenienti dalla letteratura scientifica internazionale, con particolare riferimento agli sbarramenti da frana (*Landslide Dams*) in concomitanza con la raccolta dei dati cartografici tematici disponibili presso gli Enti territoriali o Enti di Ricerca.

A questa fase è seguito uno *screening* dei dati che ha permesso di individuare 40 siti oggetto di approfondimento a scala di dettaglio, per i quali si è effettuata un'analisi geomorfologica mediante l'interpretazione di carte topografiche in scala 1:5.000 ed aereofoto in stereoscopia, il tutto validato dal riscontro sul terreno.

Successivamente è stata effettuata una selezione delle variabili descrittive che maggiormente influenzano il sistema indagato, sulle quali è stata in seguito effettuata un'analisi multifattoriale di tipo regressivo – lineare allo scopo di individuarne le relazioni che governano il sistema.

Infine, è stato impostato un modello interpretativo che orienta nella definizione degli scenari e nell'individuazione delle aree interessate.

2. Definizioni, casi storici e stato attuale delle conoscenze

Il presente capitolo presenta sinteticamente la definizione consolidata nella letteratura scientifica del termine “Sbarramento fluviale da frana”, illustra una serie limitata di casi storici significativi di sbarramenti da frana a livello internazionale, europeo ed italiano, discute le proposte di tipizzazione e classificazione di questi particolari fenomeni e precisa lo stato attuale delle conoscenze su di essi.

2.1. Definizioni di sbarramento fluviale da frana (*Landslide Dam*)

Con il termine “Sbarramento da frana” (*Landslide Dam*), s’intende l’ostruzione naturale di un corso d’acqua ad opera dell’accumulo di un movimento di massa mobilizzatosi lungo un versante (Casagli ed Ermini, 1999). L’ostruzione del corso d’acqua può essere completa o parziale, in entrambi i casi può formarsi un lago (*Upstream Lake*) a monte dell’accumulo. La pericolosità degli sbarramenti da frana è legata sia al rapido svuotamento che avviene in seguito a rottura dell’invaso, le cui conseguenze catastrofiche sono direttamente connesse alle dimensioni del bacino, sia allo straripamento del lago di sbarramento e, quindi, sovralluvionamento del territorio circostante (DownStream Outburst, Schuster, 2000, Fig. 2.3).

Gli sbarramenti da frana rappresentano, inoltre, degli importanti geosensori, in quanto l’ostruzione d’alveo stravolge l’ecosistema fluviale nel suo complesso, con importanti ricadute sull’attività umana, intesa in termini socioeconomici (perdita di terreno coltivabile, interruzione di vie di comunicazione) sia catastrofici (perdita di vite umane, strutture ed infrastrutture). Costa & Schuster (1991) ed Ermini & Casagli (2003) delineano un quadro sul profondo impatto sociale che deriva dagli effetti degli sbarramenti in zone abitate i cui effetti si rilevano sia nei territori a monte sia a valle del cumulo di frana. Gli effetti maggiormente catastrofici sono quelli legati al rapido svuotamento della diga naturale in seguito a rottura improvvisa e rapida, meccanismi di minore pericolosità sono rappresentati dal sifonamento e dall’erosione graduale. La pericolosità è quindi direttamente proporzionale alla durata della diga nel tempo e alla velocità di rottura dell’argine naturale.

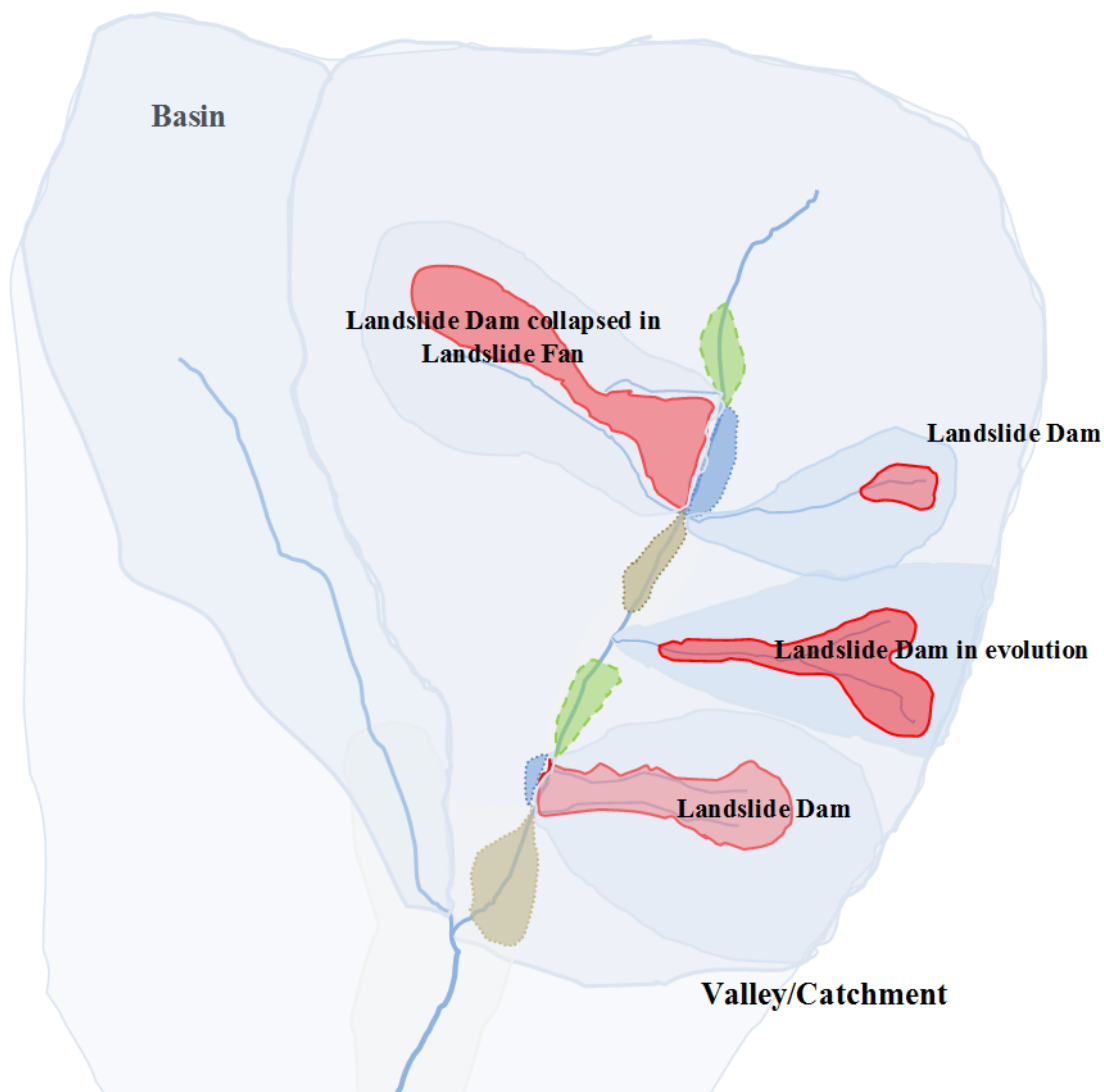


Fig. 2.1: Schema semplificato delle frane che inducono sbarramenti fluviali ed elementi geomorfologici complementari.

2.2 Casi storici di sbarramenti fluviali da frana (Landslide Dams)

Il più grande sbarramento conosciuto in epoca storica è rappresentato dalla diga Uoi nel moderno Tajikistan (Fig. 2.2).



Fig. 2.2. Vista della Usoi landslide dam and Lake Sarez.

Questo sbarramento fu creato da una frana stimata in circa 2 Km^3 mobilizzatasi, in seguito al terremoto del 18 febbraio 1911 che ostruì il fiume Murghab formando una diga in terra dell'altezza di 301 metri e d il relativo lago Sarez della profondità di 284 m (Alford D., 2000). In un ipotetico scenario catastrofico, naturale o accidentalmente causato dall'uomo, è stato stimato che (Report delle Nazioni Unite, 2000) il “dam-break” della diga produrrebbe un'onda anomala o “outburst” (Schuster, 2000) il cui effetto a catena sul reticolo idrografico della regione compresa tra il lago ed il Mare Aral, circa 2000 km di estensione, abitata da oltre 5 milioni di persone.

Altro esempio noto di *Landslide Dam* è quello di Gros Ventre nello Wyoming (USA) (Fig.2.3), che si è verificato il 23 giugno 1925, dopo varie settimane di pioggia, con mobilitazione di $38,000,000 \text{ m}^3$ che risalirono fino alla montagna opposta una distanza di 100 m. La frana ha creata un'enorme diga alta oltre 60 m e 400 m larga, formando il Lower Slide Lake . Il 18 maggio 1927, una porzione della diga frana franò, provocando una massiccia inondazione che di 2 m) profonda per almeno 40 km a valle. La piccola città di Kelly, sei miglia (10 km) a valle, è stata spazzata via uccidendo sei persone (Schuster R.L. and Costa J.E., "A Perspective on Landslide Dams", in *Landslide Dams by the American Society of Civil Engineers*, 1986, pp. 1-20).



Fig. 2.3. Landslide Dams di Gros Ventre e relativo materiale di outburst.

Il più catastrofico evento avvenuto in seguito alla rottura di uno sbarramento da frana in epoca storica, è avvenuto nella provincia cinese dello Sichuan il 10 giugno 1786 in seguito ad un terremoto di magnitudo 7.75 (F.C. Dai et al., 2005). Il cumolo di frana era alto circa 70 metri ed il lago formatosi aveva un'estensione di circa 1.7 km^2 . L'outburst, avvenuto dieci giorni dopo l'evento, ha determinato circa 100.000 vittime (Fig.2.4).



Fig.2.4: Particolare di quello che è stato interpretato come parte dei materiali di sbarramento della Landslide Dam di Sichuan.

In Europa si ricordano, ad esempio, gli inventari delle *Landslide Dams* effettuate da Bonnard et al. (2006), distinti in base alla tipologia ed all'epoca di accadimento (Fig. 2.5).

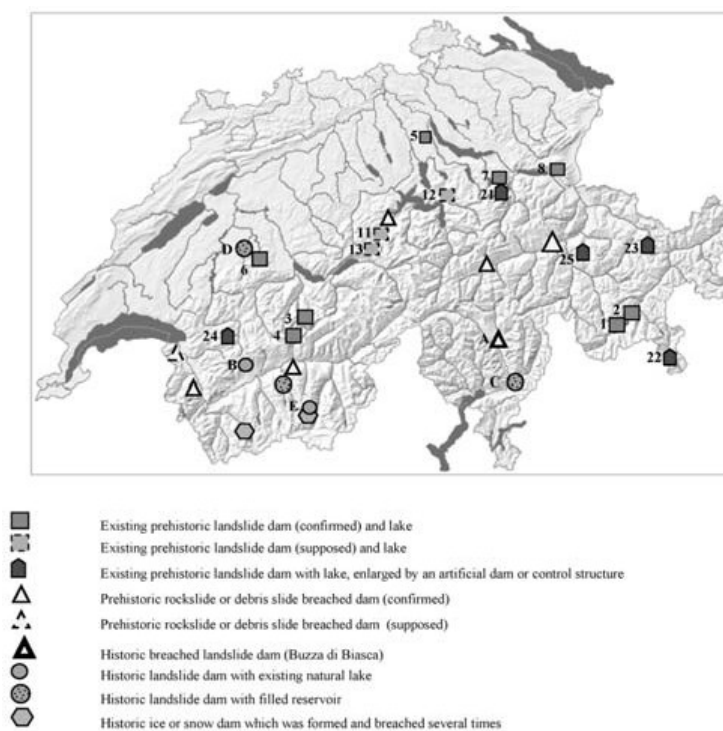


Fig. 2.5: Inventario delle Landslide Dams in Svizzera (Bonnard, 2006).

Anche in Italia sono diffusi i fenomeni di Landslide Dams. Il caso più noto è quello della frana di Scanno in Abruzzo (Bianchi Fasani, 2007), (Fig. 2.6), che Colarossi-Mancini nel 1921 definisce come sismo-indotta, mettendola in relazione con il tremendo terremoto, descritto da Tito Livio, dell'anno 217 B.C. (Nicoletti et al., 1993). Datazioni assolute hanno fornito una datazione di circa 12.820 anni (Bianchi Fasani, 2003).

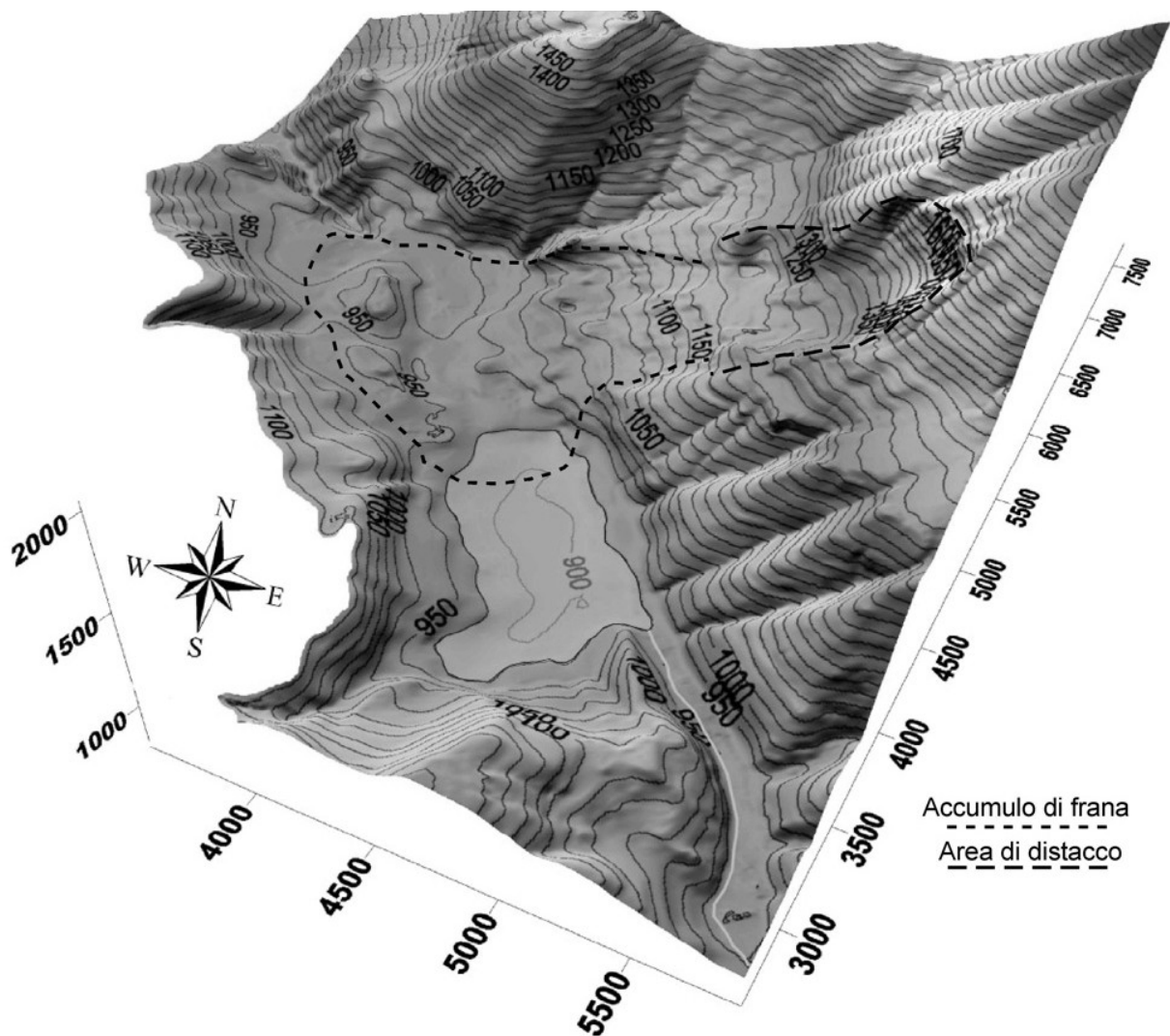


Fig. 2.6: Lago di frana di Scanno (Scarascia G. et al., 2007).

Anche l'area a monte dello sbarramento è soggetta ad un rischio molto elevato, dovuto all'inondazione che si verifica in seguito ad una veloce risalita del livello del fiume dopo l'ostruzione. Ne è un esempio l'evento verificatosi a Quarto sul Savio (Forlì), dove il blocco del fiume Savio causò nel 1812 (Bertoni, 1843; Casagli & Ermini, 2000) 18 vittime nell'area a monte dello sbarramento (Fig. 2.7).



Fig. 2.7: Lago Pontino provocato dalla Landslide Dam di Quarto sul Savio.

In una revisione sistematica delle vittime indotte da Landslide Dam in Italia, (Ermini & Casagli, 2002) hanno valutato le vittime provocate dagli eventi connessi a queste fenomenologie (Fig. 2.8).

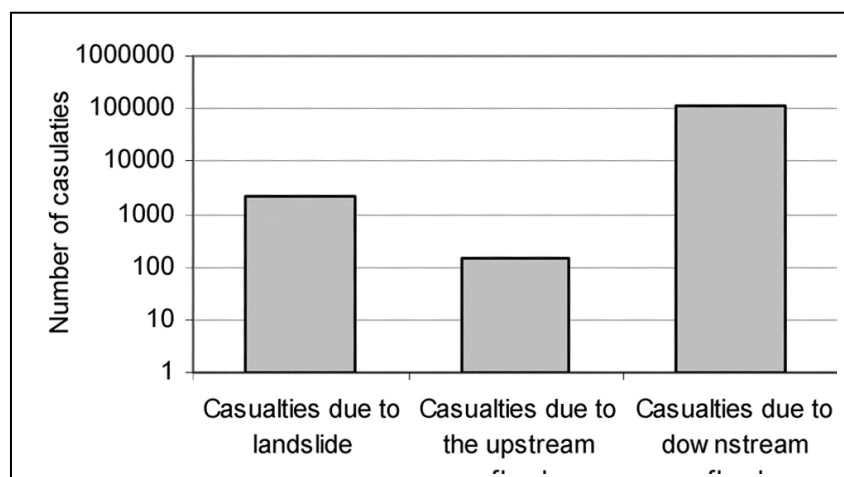


Fig. 2.8: Distribuzione del numero di vittime in base ai tre fattori incidenti: frana, inondazione a monte ed inondazione a valle dello sbarramento (da Ermini & Casagli, 2002).

In epoca recente, si ricorda la grande Landslide Dam della Val Pola che si è prodotta nel 1987 in Valtellina, ostruendo il corso dell'Adda (Costa, 1991; Crosta et al., 2004.). Il 28 luglio, alle ore 7.23, un'enorme quantità di roccia e detriti (circa 33.000.000 mc in nicchia e 43.000.000 mc di deposito) si staccò dal Monte Zandila; lo sviluppo lineare del deposito di Pompeo Coico – Il Multirischio Idrogeologico in Regione Campania

materiale fu di circa 2.5 km in direzione N-S con risalita sul versante apposto per circa 300 m di dislivello. Risultarono disperse numerose persone (Fig. 2.9) .



Fig. 2.9: Frana di sbarramento della Val Pola avvenuta nel 1987.

In Italia Meridionale ed insulare sono stati segnalati numerosi casi di *Landslide Dams*. Uno studio sistematico in Sicilia è stato effettuato da Nicoletti P.G., Iovine G. & Catalano E. (2000) e Nicoletti P.G. & Parise M. (2002) per la Sicilia sud-orientale. Famosi sono i numerosi laghi formatisi a seguito dei ripetuti catastrofici terremoti in Calabria ed è noto quello avvenuto nel fiume Buonamico (Cotecchia e Melidoro, 1979).

Altro casi avvenuti più di recente riguardano casi singoli come ad esempio il caso di loc. Covatta, lungo il Biferno (Molise) dove, nell'aprile del 1996, uno scorrimento evoluto a colata rapida di terra ha ostruito il fiume (Fig. 2.10), creando un lago di sbarramento drenato poi artificialmente (Guida et alii, 1996; Corbi et alii, 1999).



Fig. 2.10: La frana di sbarramento in loc. Covatta, valle del f. Biferno (Molise), nel 1996.

Da un'attenta analisi della bibliografia scientifica, mancano studi e ricerche che hanno affrontato sistematicamente la problematica delle Landslide Dams nella Regione Campania. In tal senso, la presente ricerca, oltre a quanto espresso in premessa, cerca di fornire un primo contributo alla individuazione, delimitazione, caratterizzazione e cartografazione delle *Landslide Dams* nella Regione Campania, utilizzando le classificazioni più accreditate presenti nella letteratura scientifica di settore, come di seguito esposto.

2.3. *Classificazione degli sbarramenti fluviali da frana*

La letteratura scientifica esaminata si basa soprattutto su casi ben documentati sia dal punto di vista scientifico sia storico, trascurando, per mancanza di dati, quei fenomeni che non hanno impattato con il tessuto urbano o infrastrutturale, o che si collocano fuori dall'epoca storica.

I primi autori che hanno trattato quest'argomento in modo sistematico sono stati Costa & Shuster (1988), i quali hanno redatto una classificazione degli sbarramenti da frana basata sulle caratteristiche geomorfologiche degli eventi con particolare riferimento all'interazione del fenomeno franoso con il fondovalle relativo. La classifica si basa sui dati relativi a 225 casi campione, la cui analisi ha permesso agli autori di distinguere sei tipologie di sbarramenti da frana:

- Type I: il cumulo di frana non impatta con il versante opposto ed il lago che ne deriva è piuttosto effimero;
- Type II: lo sbarramento della valle è completo da versante a versante ed in alcuni casi il cumulo di frana deposita materiale sul versante opposto;
- Type III: il movimento franoso ostruisce completamente l'alveo ed il cumulo, incassato, si estende sia a monte sia a valle per una considerevole distanza in rapporto alle dimensioni della frana;
- Type IV: Lo sbarramento si forma dalla sommatoria degli accumuli di materiale di frana, derivante dal collasso generalizzato di movimenti franosi presenti su entrambi i lati del versante;
- Type V: Il fenomeno franoso si separa in più lobi nel raggiungere il fondovalle, i quali creano, a loro volta, diversi laghi.
- Type VI: L'uno o più piani di scivolamento del fenomeno franoso di tipo scorrimento rotazionale sono situati al di sotto del letto fluviale e l'ostruzione è dovuta all'elevazione del cumulo in seguito alla rotazione. Questo tipo di fenomeni possono cambiare il gradiente idraulico locale.

La maggior parte degli sbarramenti sono stati inquadrati nelle tipologie 2 (44%) e 3 (41%) che sono anche le più pericolose. Le tipologie 4 e 5 sono pericolose quando la valle è stretta e i fenomeni franosi sono piuttosto larghi: questo fa sì che si formino fronti di diga piuttosto alti.

R.L. Hermann et alii (2006) sulla base di rilievi effettuati lungo le Ande Argentine, hanno riscontrato che sbarramenti di frana possono apportare modifiche sostanziali alla rete

fluviale, deviando il normale deflusso delle acque. Ne è derivata la necessità di aggiungere nuove classi alla classificazione, introducendo quattro nuove classi:

Type VIIa: Lo sbarramento forma una barriera che causa lo sviluppo di una nuova rete drenante, deviando il corso d'acqua verso una valle adiacente attraverso la roccia in posto ;

Type VIIb: Lo sbarramento forma una barriera che devia il corso d'acqua attraverso il bedrock rimanendo nella stessa valle;

Type VIII: Lo sbarramento si forma esattamente dove la rete drenante ha la possibilità di essere deviata verso un'altra valle. In questo caso l'evento parossistico può essere disastroso per entrambe le valli, una per tracimazione, l'altra per sifonamento ed allagamento successivo.

Type IX: Il *dam break* della diga causa un enorme debris flow che può propagarsi fino a 60 km di distanza (frana di Barrancas Valley del 1914) i cui depositi terrazzati possono influenzare il deflusso degli affluenti posti a valle dello sbarramento.

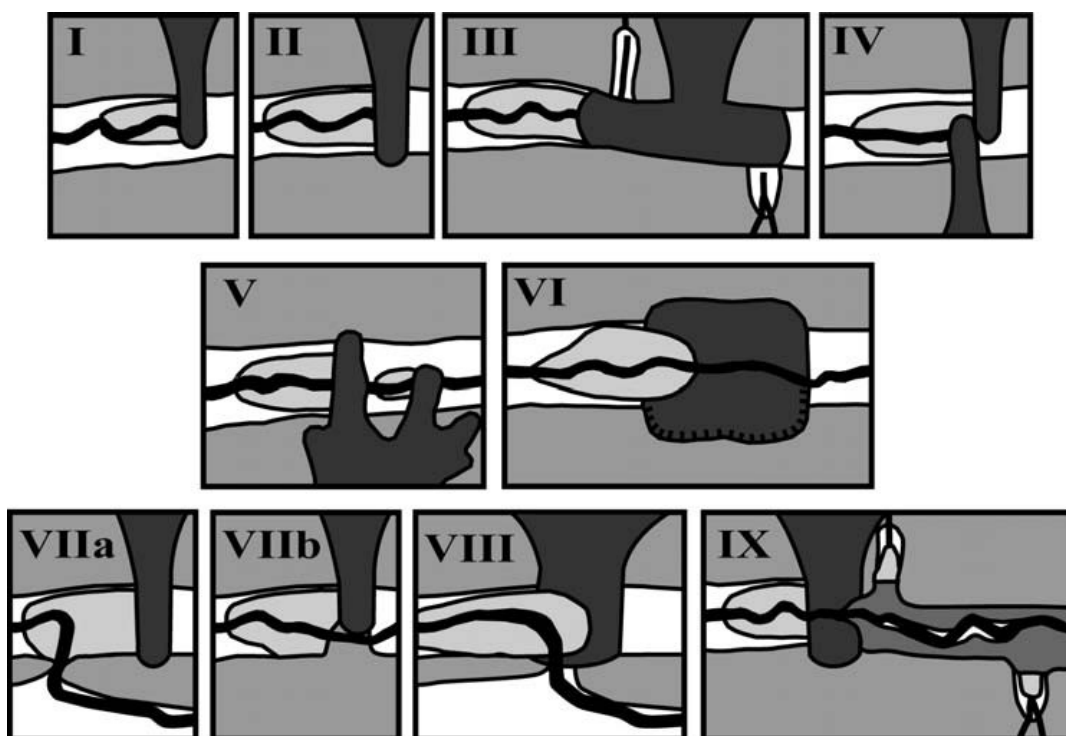


Fig.2.11: Classificazione degli sbarramenti da frana. I – VI Costa & Schuster (1988), VII – IX Hermanns et alii (2006) . (da Hermanns et alii, 2006).

2.4 Tipologia degli sbarramenti fluviali da frana

Secondo uno studio basato su circa 500 “Landslide Dam” censiti a scala globale (Costa & Schuster, 1991; Schuster, 1995; Ermini & Casagli, 2003), circa il 57 % sono causati, secondo la classificazione di Cruden e Varnes (1996), da crolli in roccia ed in terra e scorrimenti o scorrimenti - colata, il 25% da colate di terra o detrito ed il 15% da valanghe di roccia. La restante parte è rappresentata da frane indifferenziate (Fig. 2.12).

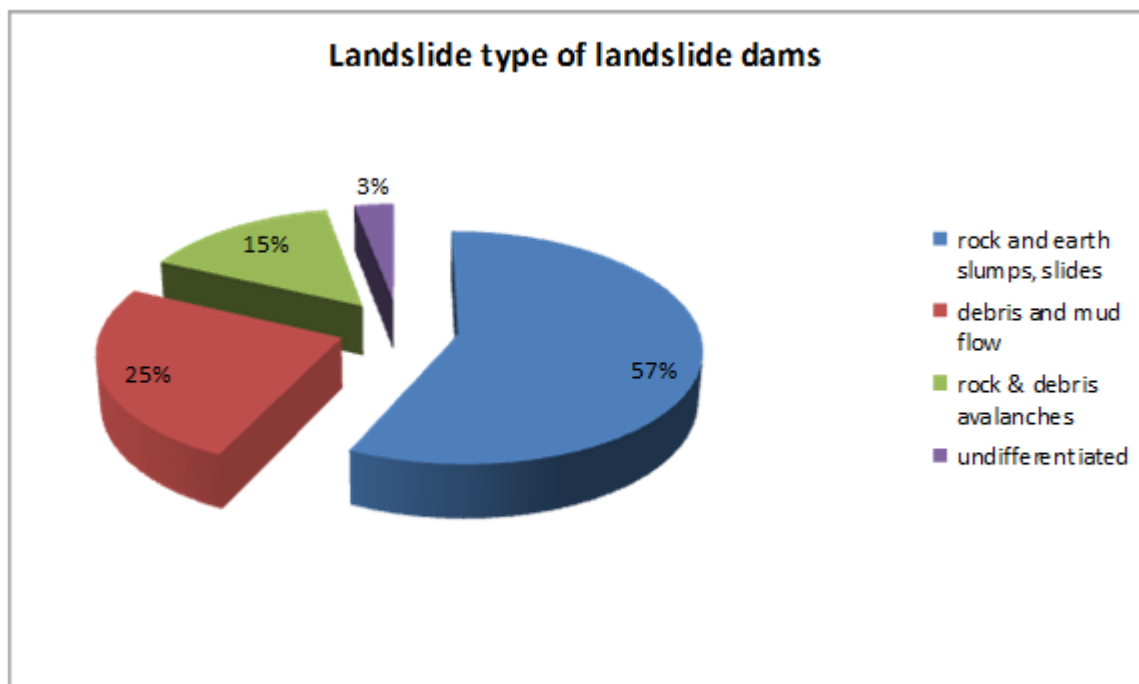


Fig. 2.12. tipologie di frane che generano sbarramenti (da Costa & Schuster, 1988; Schuster, 1995; Ermini & Casagli, 2003).

Gli sbarramenti maggiori si formano in valli acclivi e strette, in quanto acquisiscono velocità tali da ostruire completamente il tratto di fondovalle relativo prima che il corso d'acqua possa erodere la zona di accumulo (Costa & Schuster, 1988).

Nella maggior parte dei casi studiati dagli autori, i movimenti di massa s'innescano con movimenti del tipo crollo o scorrimento ed evolvono a colata di terra o detrito.

Ermini & Casagli (2003), approfondiscono la ricerca e, basandosi su 353 casi di studio, correlano la tipologia dei fenomeni franosi alla stabilità dei relativi sbarramenti (Fig. 2.13).

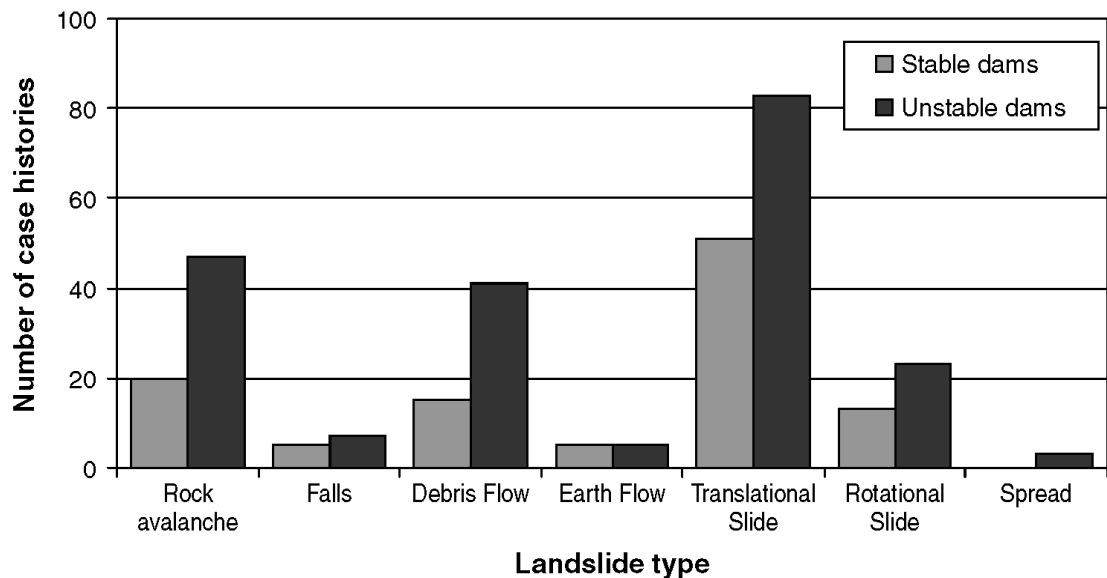


Fig. 2.12: Tipi di frane che hanno prodotto sbarramenti d'alveo in relazione alla stabilità del fronte della diga naturale. (Ermini & Casagli, 2003)

2.5 Fattori predisponenti e cause determinanti la fase di innesco e mobilitazione

I principali fattori predisponenti all'evoluzione delle frane di sbarramento sono la litologia e morfologia (Costa & Schuster, 1988).

La geologia rappresenta un fattore predisponente importante sia riguardo all'innesco e la propagazione dei fenomeni franosi, sia riguardo alla tenuta e stabilità della diga naturale.

Pochi autori hanno trattato quest'argomento. Ermini & Casagli (2002, 2003), sulla base di casi individuati negli Stati Uniti, in Giappone e in Italia affermano che la maggior parte degli eventi si colloca lungo i margini attivi delle placche tettoniche dove l'innalzamento rapido delle catene montuose, ha prodotto valli strette dai versanti ripidi.

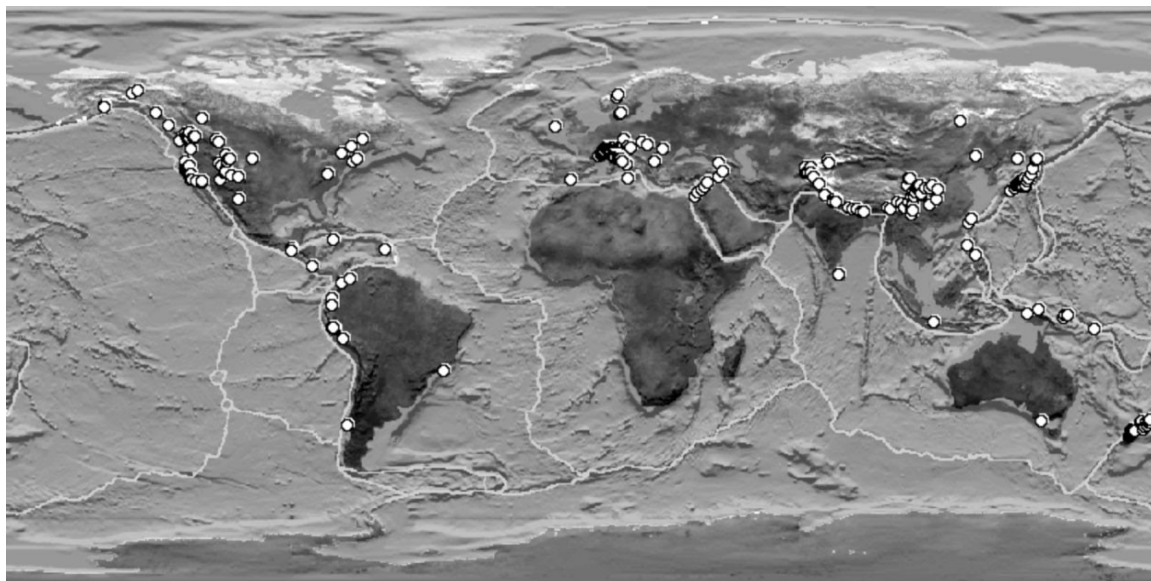


Fig. 2.13: Distribuzione a scala globale di 350 landslide dam inventariate su dati dell'US Geological Survey (dati topografici) e del Naval Research Laboratory (distinzione delle placche tettoniche). Da Ermini & Casagli, 2003.

Inoltre gli autori hanno proposto una classificazione basata sulla litologia suddividendo i depositi in cui si sviluppano le frane in quattro classi principali:

- Classe A: terreni sciolti e rocce tenere di età dal Pliocene superiore all'attuale;
- Classe B: rocce maggiormente competenti più antiche del Pliocene Superiore;
- Classe C: rocce metamorfiche e rocce intrusive;
- Classe D: rocce effusive;

In base a questi studi, si è visto che la classe B è l'unica in cui il numero delle dighe stabili supera quello delle instabili, mentre in tutte le altre prevalgono gli sbarramenti instabili, come si evince dalla Fig. 2.14.

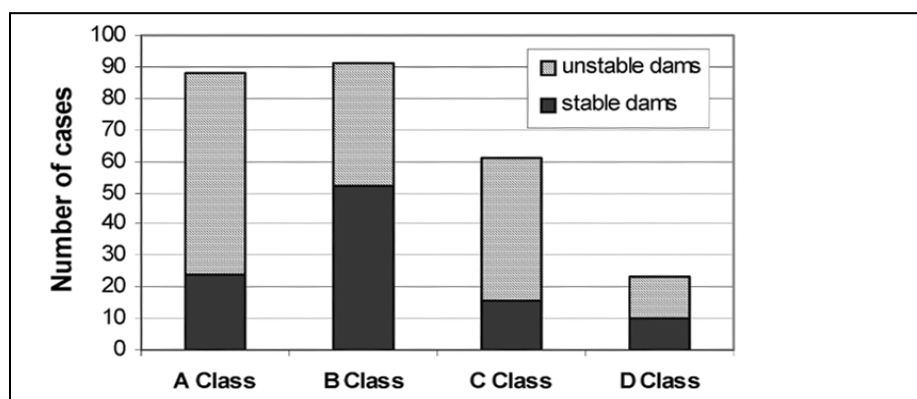


Fig. 2.14: Suddivisione degli sbarramenti in base alla litologia (da Ermini & Casagli, 2002).

Il numero non elevato di casi a scala mondiale rende difficile una trattazione sistematica su ruolo della morfologia dal punto di vista statistico. Casagli & Ermini (2000)

hanno per primi trattato i dati morfometrici con una rete neurale, che ha permesso migliore descrizione dell'incidenza di questo fattore predisponente all'innescio e alla successiva evoluzione delle fenomenologie in esame.

Vari autori, tra cui Swanson et alii (1986), Pirocchi (1992), Canuti et alii, (1998), Casagli ed Ermini (1999, 2002, 2003) e Korup (2004), sono concordi nel sostenere che la stabilità della diga è legata alle relazioni di alcuni parametri geomorfici:

- **Il volume della diga (Vd)** in metri cubi, che è considerato il parametro principale, da cui dipende la tenuta dell'invaso
- **'area del bacino sotteso allo sbarramento (Ab)** in chilometri quadri, da cui dipende l'apporto idrico relazionato in base ai tempi di corrivazione.

Canuti et al. (1998) e Casagli & Ermini (1999) partendo da un database con casi inventariati nell'Appennino tosco-emiliano, hanno messo in relazione questi due parametri definendo l'*Indice di bloccaggio* di un fenomeno franoso rispetto a un corso d'acqua:

$$BI = \log (Vd/Ab)$$

In cui Vd è il volume della diga e Ab l'area della diga.

Secondo le loro elaborazioni, anche se specificano che tale indice potrebbe variare al variare del territorio esaminato (Ermini e Casagli, 2002), l'indice varia da 3 a 5, con 3 quando si ha lo sbarramento con completa formazione della diga e 5 quando la diga non regge, mentre l'indice è 4 quando la diga è stabile.

Questo indice spiega bene 73 casi distribuiti tra le Alpi e l'Appennino settentrionale, il Giappone e gli Stati Uniti, mentre per altri 11 distribuiti tra la nuova Zelanda e l'India, gli autori hanno introdotto (Ermini & Casagli, 2003) un indice adimensionale, funzione dell'altezza dello sbarramento, del volume e dell'area del bacino sotteso:

$$\textit{Dimensionless Blockage index DBI} = \log ((Ab \times Hd)/Vd),$$

in cui Hd è l'altezza della diga.

Quest'indice inserisce l'altezza della diga come parametro fondamentale per la tendenza dello sbarramento ad evolvere per tracimazione o sifonamento. Per valori compresi tra 3.23 e 2.68 siamo in presenza di uno sbarramento stabile, mentre per valori compresi tra 2.68 e 2.83 siamo in presenza di sbarramenti instabili.

Korup (2004) ha introdotto ed analizzato altri parametri morfometrici, mettendoli in relazione tra loro, oltre a quelli citati in precedenza come area, altezza e volume dello sbarramento e dei laghi quali lunghezza, larghezza, perimetri, altitudine, rilievo, *ruggedness number*, pendenza modale. Dall'analisi statistica multivariata, l'autore ricava tre nuovi indici adimensionali bivariati: *Backstow index* I_s , *Basin Index* I_a e **Relief Index** I_r , tramite i quali, graficamente, si può determinare il punto critico di formazione degli sbarramenti da frana.

L'autore mette in relazione non solo i parametri caratteristici dello sbarramento, ma anche quelli degli ambiti morfologici a contorno, indicando la tendenza di un dato bacino a creare sbarramenti da frana.

Le principali cause determinanti l'innescio e la mobilitazione di frane che creano sbarramenti possono ricondursi a eccessive precipitazioni atmosferiche (piogge intense e nevicate), ed i terremoti (Costa & Schuster, 1988).

Su uno studio condotto su 128 casi (Costa & Schuster, 1988, 1991) si è riscontrato che insieme le due cause rappresentano circa il 90% del totale, con una leggera predominanza della piovosità (47%). Le eruzioni vulcaniche rappresentano l'8%, mentre altri meccanismi, come la deforestazione o lo scalzamento al piede dei corsi d'acqua, solo il 2%.

Ad esempio, la citata frana del monte Zandila in Val di Pola in Lombardia del luglio 1987 dove, dal 15 al 19 luglio, sono caduti 600 mm di pioggia (Ermini & Casagli, 2003). Per quanto riguarda i terremoti, in base ai dati finora disponibili, sembra che solo che quelli con magnitudo maggiore di 7 possano mobilitare fenomeni franosi in grado di formare sbarramenti d'alveo (Ermini & Casagli, 2003). La maggior parte della letteratura scientifica verte su studi relativi ad eventi singoli, con descrizione dei processi e modellazione sulla probabilità di tracimazione dell'*upstream lake*.

Poche sono le ricerche sulla classificazione di questi fenomeni e sulla loro interconnessione con gli ambiti geomorfologici a contorno

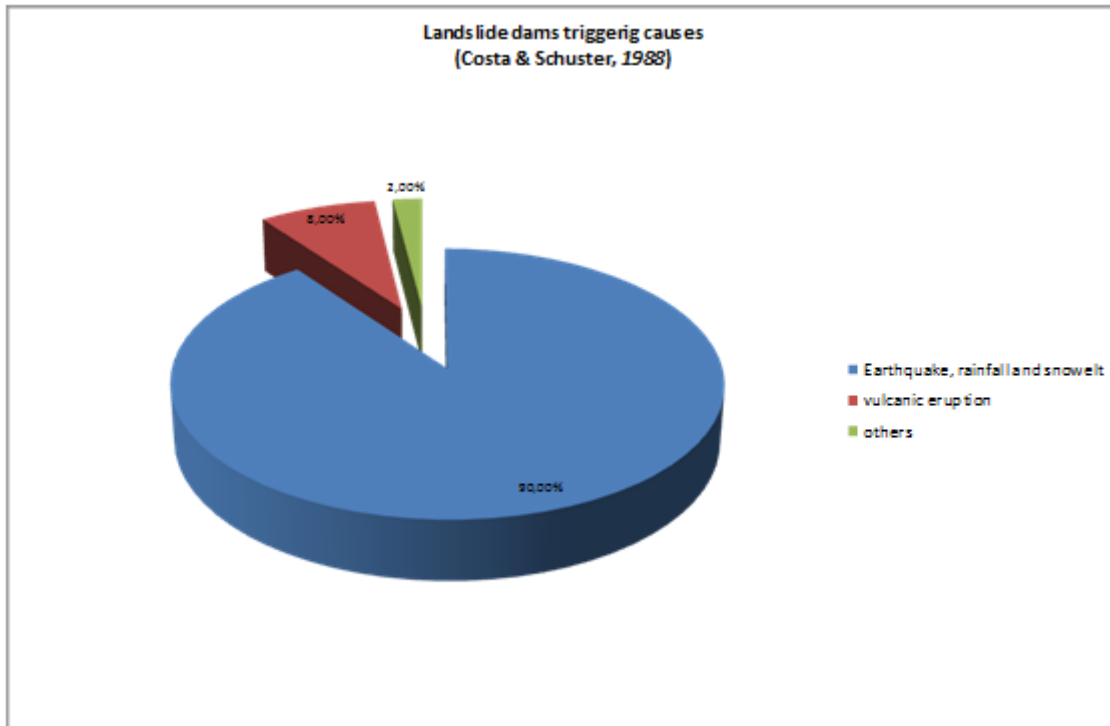


Fig. 2.2.1. Cause determinanti l'innescio dei fenomeni franosi.

Questo è dovuto principalmente al numero esiguo di casi riscontrati nel mondo (391 secondo Costa & Schuster, 1991) ed alla durata dello sbarramento: infatti, il 40% dei casi collassa per tracimazione o sifonamento entro 24 ore dalla formazione e l'80% entro un anno (Costa & Schuster, 1988; Ermini & Casagli, 2003), fatto che non consente di distinguere, in maniera rigorosa, questi fenomeni dal resto dei movimenti di massa di versante.

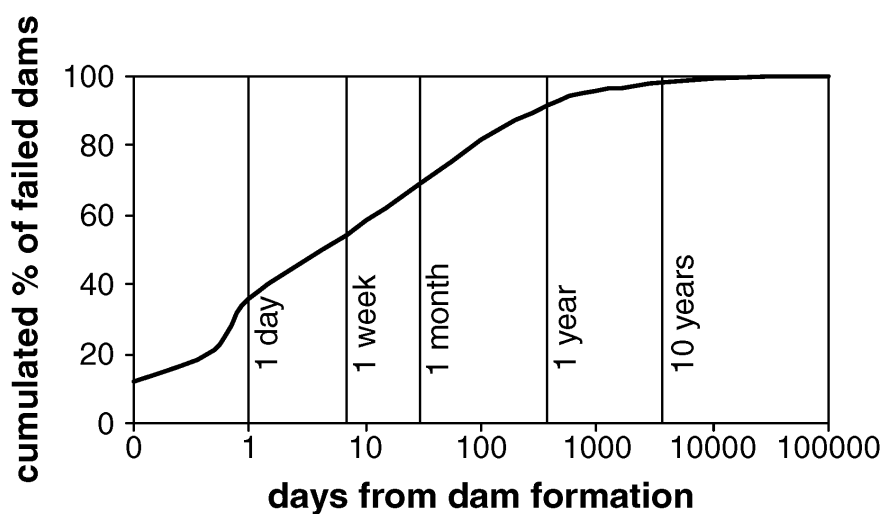


Fig.2.2.2. Tempo che intercorre tra l'instaurarsi dello sbarramento e la rottura (da Ermini & Casagli, 2002-2003) basato su 205 casi di studio.

3. L'area di studio

Qualsiasi azione o attività inerente la valutazione della pericolosità e del rischio ambientale di un determinato territorio non può prescindere dalla conoscenza delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche e delle interazioni fra queste ed il sistema antropico.

Il presente capitolo, dopo una breve presentazione dell'area di studio nei suoi principali aspetti geografici, fisiografici e climatici, ne illustra le principali caratteristiche geologiche e geomorfologiche ed, infine i caratteri degli insediamenti e di uso del suolo. Tali caratteri, come meglio si vedrà in seguito, condizionano l'innescò e l'evoluzione delle frane che inducono sbarramenti vallivi e ne determinano la pericolosità.

3.1 Inquadramento geografico, fisiografico e climatico

L'area oggetto di studio è rappresentata dall'intero territorio della Regione Campania, la quale presenta una superficie di circa 13.589,047 Km² per una popolazione di circa 5.652.500 abitanti distribuiti in 5 Province e 551 comuni, con una disparità di densità abitativa che predomina nell'*interland* napoletano a discapito di zone scarsamente abitate, come ad esempio il Sannio ed il Cilentano.

Dal punto di vista strettamente geografico possiamo distinguere territorio campano diversi distretti, che comprendono:

- Aree Metropolitane;
- Distretti vulcanici;
- Piana Campana;
- Piana del Volturno-Garigliano;
- Distretto Sannita;
- Distretto Irpino;
- Monti del Matese;
- Monti Lattari;
- Monti Picentini;
- Monti dell'Alburno-Cervati;
- Piana del Sele;
- Cilento
- Vallo di Diano
- Costiera sorrentina - amalfitana

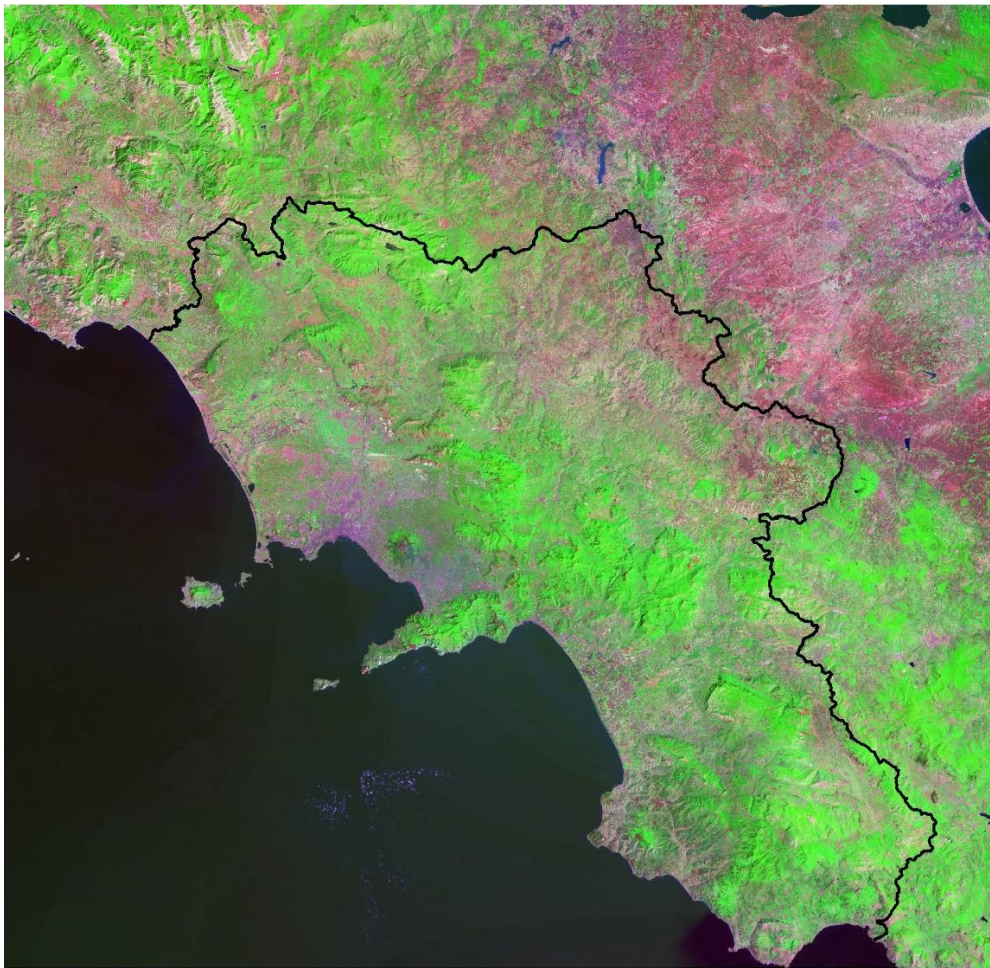


Fig.3.1 : Immagine Landsat della Regione Campania

Dal punto di vista fisiografico, il paesaggio, piuttosto articolato, è sostanzialmente suddivisibile in tre settori (Fig. 3.2): un'area costiera caratterizzata da ampie pianure deposizionali costituite dalla sommatoria dei prodotti eruttivi dei suoi apparati vulcanici, intervallati dai depositi clastici di origine fluviale, una fascia basso-montuosa appenninica, caratterizzata, ai margini, da ampie fasce collinari di raccordo con le piane ed una montagnosa, caratterizzata da massicci carsici e, verso Sud, da montagne terrigene.

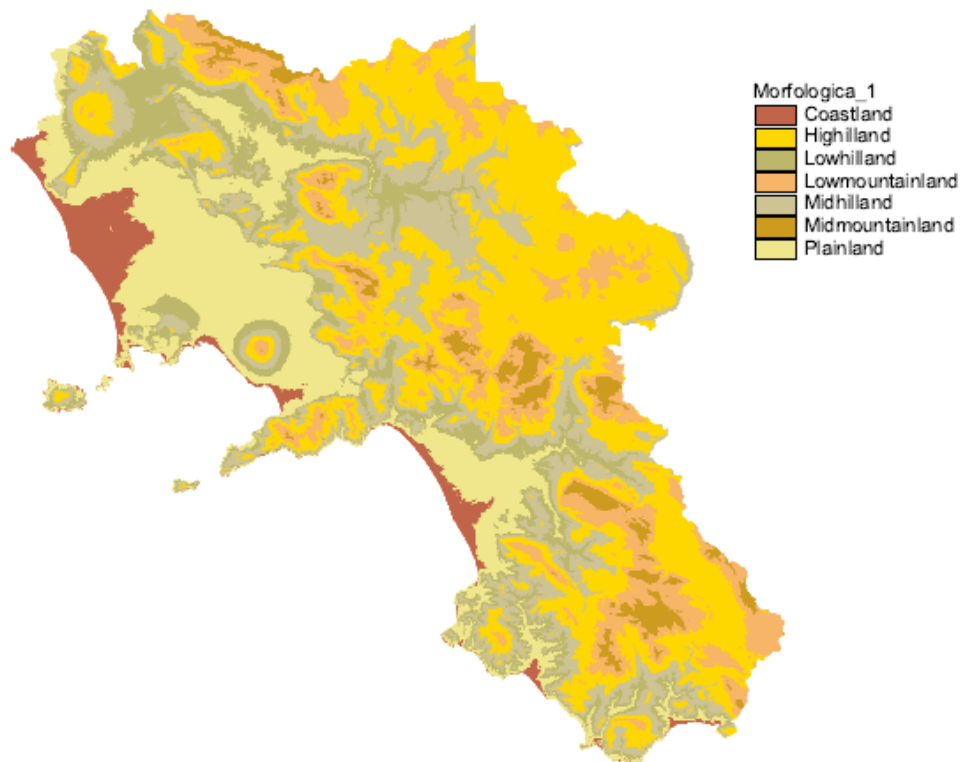


Fig. 3.2: Articolazione fisiografica del territorio campano

L'idrografia della Regione si presenta poco articolata nei settori dove affiorano rocce carbonatiche carsiche, dove il deflusso avviene principalmente per via endoreica (Alburno – Cervati, Alto Volturno) mentre nei il pattern s'infitte dove affiorano le rocce a prevalenza argillosa dove il deflusso avviene prevalentemente in via esoreica

Il fiume più importante della Campania è il Volturno con i suoi circa 170 km di rete drenante seguito dal Sele con 65 km. Il bacino del fiume Volturno occupa circa il 40% dell'intero territorio regionale ed è suddivisibile in due grandi sottobacini: L'alto Volturno ed il Calore irpino. L'alto Volturno è caratterizzato prevalentemente dall'affioramento di rocce carbonatiche, pertanto il pattern idrografico non è molto sviluppato, mentre nel bacino del fiume Calore affiorano prevalentemente i depositi in facies di flysch (marne argille, sabbie ed arenarie) per cui vi è un maggiore sviluppo della rete drenante.

Altri Importanti fiumi sono il Sarno, l'Alento, il Bussento, il Mingardo, il Picentino, il Lambro ed i canali dei Regi Lagni.

Tutti i fiumi citati sfociano nel Tirreno, mentre L'Ofanto, il torrente Cervaro, il Calaggio e l'Oseinto sfociano nel Mare Adriatico.

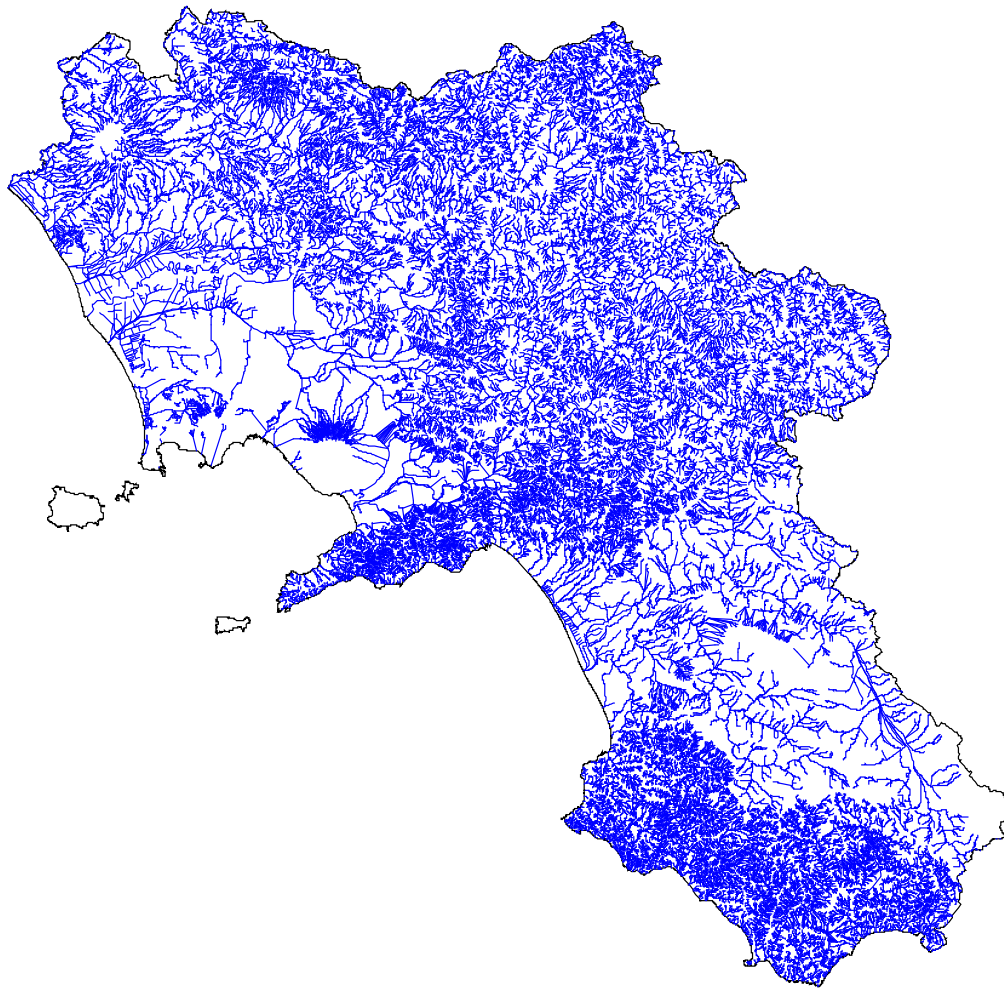


Fig. 3.3: Idrografia completa della regione Campania

Dal punto di vista climatico di livello regionale, l'area si può suddividere in tre regioni (Fig. 3.4): mediterranea, temperata e di transizione (Blasi et al.2000). Essi fanno parte dei *climi mesotermici*, caratterizzati da precipitazioni moderate ed inverni non troppo rigidi caratterizzati da una temperatura media annuale compresa tra 15° e 20° C, solo raramente si hanno temperature più alte di 40°C d'estate, o temperature inferiori ai -10° C d'inverno. Le temperature medie del mese più freddo sono comprese tra 15° C e 2° C, le precipitazioni variano da zona a zona e sono tali da assicurare una copertura vegetale pressoché continua. A volte sono anche a carattere nevoso, ma la neve permane solo nelle zone montuose. La vegetazione generale è data dall'abbondanza di sempreverdi.

La regione mediterranea è caratterizzata da inverni e autunni miti e umidi ed estati calde e asciutte, la temperatura media del mese più caldo è compresa tra i 22-28°C. La

Pompeo Coico – Il Multirischio Idrogeologico in Regione Campania

vegetazione mediterranea tipica, il cui sviluppo massimo coincide con la primavera è rappresentata dal bosco sempreverde e dalla macchia mediterranea, costituita principalmente da alberi bassi e da arbusti sempreverdi con formazioni a sclerofille

La regione temperata è mediamente umida (precipitazioni medie annue tra i 700-1500 mm). La vegetazione è rigogliosa specie nelle zone a maggior umidità. La temperatura dei mesi più freddi si mantiene intorno allo zero.

la regione mediterranea di transizione è caratterizzata da un clima con precipitazioni annuali comprese tra mm. 810 e 1519, l'aridità estiva ridotta a due o tre mesi ed una temperatura media delle minime del mese più freddo intorno ai 2,3° C - 4° C.

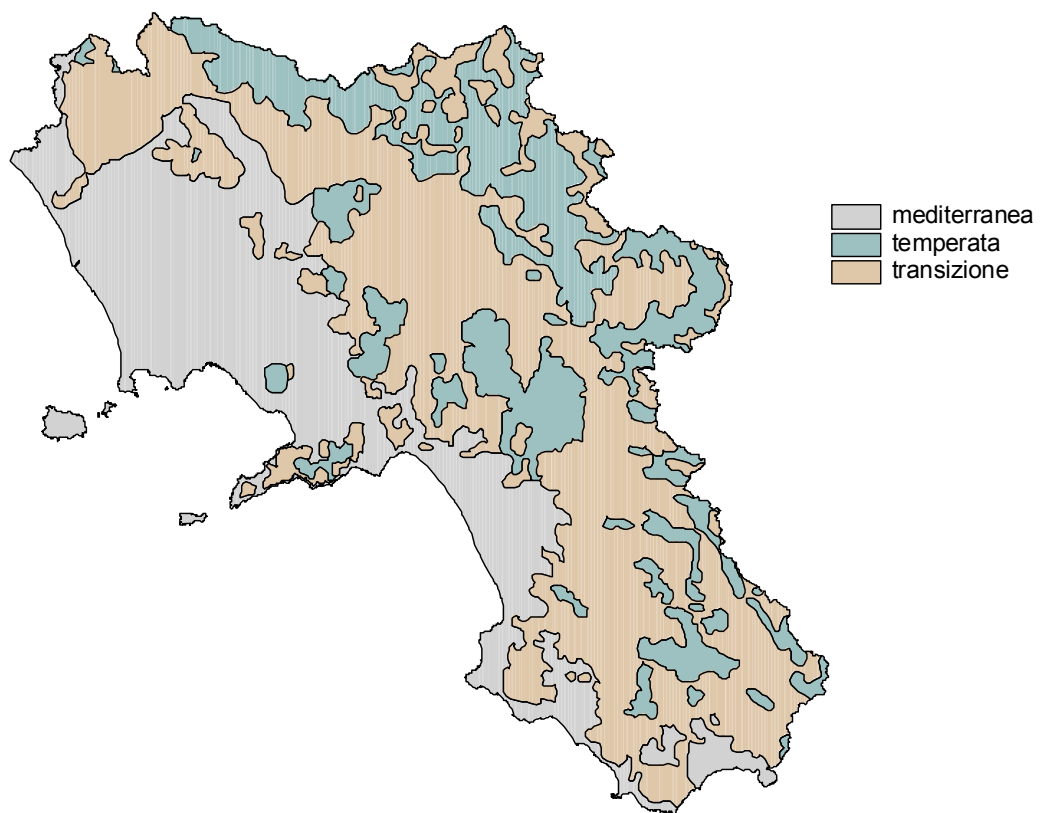


Fig. 3.4: Carta delle Regioni Climatiche della Regione Campania

3.2 Caratteristiche geologiche e geomorfologiche

Le conoscenze geologiche e geomorfologiche sul territorio campano sono contenute nella vastissima letteratura scientifica in materia e sono cartograficamente rappresentate sulla Carta Geologica d'Italia del Servizio Geologico Nazionale edita alla scala 1:100.000 (II Edizione).

Esse hanno contribuito, nel tempo, a definire l'assetto geologico-strutturale generale dell'Appennino Meridionale e, quindi della Campania.

L'Appennino meridionale è un segmento del sistema orogenico circum - mediterraneo collocato tra l'Appennino centrale, a nord e l'arco calabro-peloritano, a sud, e limitato rispettivamente dalle linee tettoniche Ortona-Roccamonfina e Sanginetto. Esso rappresenta un tipico *thrust and fold belt* con vergenza orientale, collocato tra il bacino di retroarco tirrenico ad ovest e l'avampaese apulo-adriatico ad est. L'attuale assetto strutturale della catena sud-appenninica rappresenta il risultato di eventi compressivi e distensivi connessi con la subduzione e il successivo arretramento flessurale della placca adriatica e, a partire dal Tortoniano, con l'apertura del bacino di retroarco tirrenico. Le seguenti considerazioni sono tratte dalle note illustrative della carta delle unità cinematiche dell'Appennino meridionale che si propone di illustrare la progressiva migrazione spazio-temporale della deformazione orogenica. Per unità cinematica s'intende un corpo geologico costituito da una o più unità tettoniche che, unitamente ad eventuali depositi di *thrust-top* si è comportata come un unico assieme cinematico nei confronti di aree più esterne. La carta è stata elaborata tenendo conto di alcune assunzioni generalmente accettate: i) l'inizio della sedimentazione silico - clastica immatura ed il suo progressivo prevalere segna il depocentro del bacino di avanfossa; ii) i depositi di avanfossa poggiano in concordanza sui precedenti depositi di avampaese, in quanto la discordanza angolare legata alla progressiva flessurazione della zolla non è apprezzabile a scala locale; iii) la prima deformazione compressiva, che segue la fase depocentrale dell'avanfossa, interessa solo una parte dell'avampaese flessurato, che viene in tal modo aggiunta all'orogene. In ciascuna unità tettonica l'evento deformativo viene vincolato cronologicamente tra l'età dei suoi depositi di avanfossa concordante con l'età dei depositi *thrust-top* discordanti, se presenti. Le relazioni originarie tra i suddetti depositi possono, comunque, essere state occultate da successivi eventi tettonici compressivi, distensivi o trascorrenti. L'eventuale presenza di successivi depositi discordanti al di sopra di quelli del substrato deformato e dei relativi bacini *thrust-top*, consente la datazione di questi ultimi eventi tettonici. Le unità cinematiche, indicate con lettere maiuscole (da A a G,

partendo dalle più antiche fino a quelle più recenti), comprendono unità tettoniche, derivate da domini paleogeografici che sono stati interessati dal primo evento tetto genetico nello stesso intervallo cronologico. In ciascuna unità cinematica sono stati distinti con lettere minuscole: a) la successione preorogena; b) i depositi dello stadio di avanfossa; c, d) i depositi dei bacini thrust-top. Le unità tettoniche non sempre hanno conservato elementi utilizzabili per stabilire l'età della prima deformazione, quali i depositi silicoclastici di avanfossa e i depositi discordanti immediatamente successivi; in tal caso l'attribuzione ad una determinata unità cinematica è stata eseguita tenendo conto della posizione geometrica e del contesto regionale. L'analisi della distribuzione areale delle unità cinematiche induce ad alcune considerazioni di carattere generale. Nel segmento di catena rappresentato nella carta si osserva l'affioramento delle unità tettoniche più interne nel settore sud-orientale ed il loro scomparire verso nord soprattutto sul bordo tirrenico. Al contrario le unità più esterne affiorano nel settore nord-occidentale, mentre nelle aree a sud-est non sono state individuate in superficie, né riconosciute in dati di sottosuolo. Tale difformità potrebbe essere dovuta ad una paleogeografia originaria irregolare oppure essere il risultato di arcature di secondo ordine plio - pleistoceniche e di faglie trascorrenti che tagliano trasversalmente la catena, anche se non possono essere escluse cause geodinamiche ancora non chiare. L'elaborazione di una carta cinematica è un passo utile per le ricostruzioni paleogeografiche, necessario ma non sufficiente, per la mancanza di ulteriori nuovi dati sulla distribuzione delle unità nel sottosuolo. Un'altra difficoltà è dovuta al fatto che la catena sud-appenninica attuale è costituita soltanto da pochi frammenti degli originari domini paleogeografici distribuiti, tra l'altro, in modo non uniforme

La Fig. 3.5, mostra l'assetto strutturale del segmento di catena che caratterizza la regione Campania.

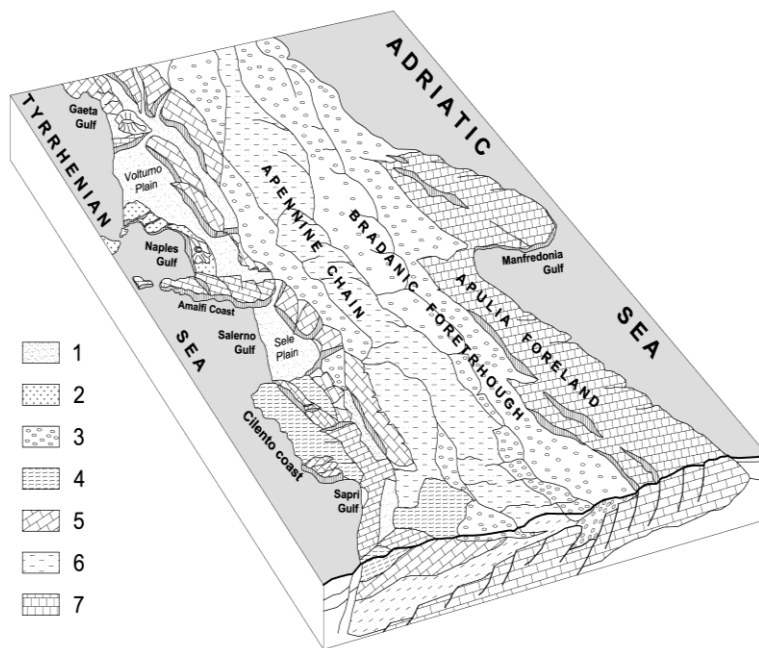


Fig. 3.5: Assetto stratigrafico-strutturale della Campania. *Legenda: Piane costiere quaternarie e bacini intermontani; 2. Apparati vulcanici peritirrenici; 3. Bacini con successioni clastiche piggy back ed avanfossa; 4. Aree collinari e montuose con successioni pelitiche e terrigene terziarie di origine interna (Liguridi e Sicilidi); 5. Unità carbonati che derivanti dalla deformazione della Piattaforma Appenninica (Piattaforme Campano-lucane e Campano-abruzzese, Auctorum); 6. Successioni bacinali lagonegresi-molisane mesozoiche prevalentemente; 7. Sequenze carbonatiche appule.*

La Fig. 3.6 mostra un transetto geologico interpretativo della struttura profonda dell'Appennino Meridionale, emersa dai recenti studi regionali.

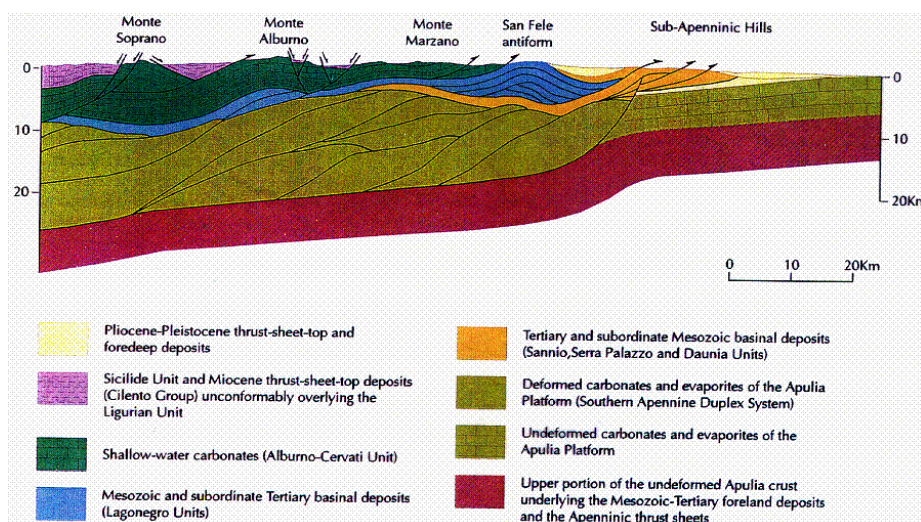


Fig. 3.6: Assetto stratigrafico-strutturale dell'Appennino.

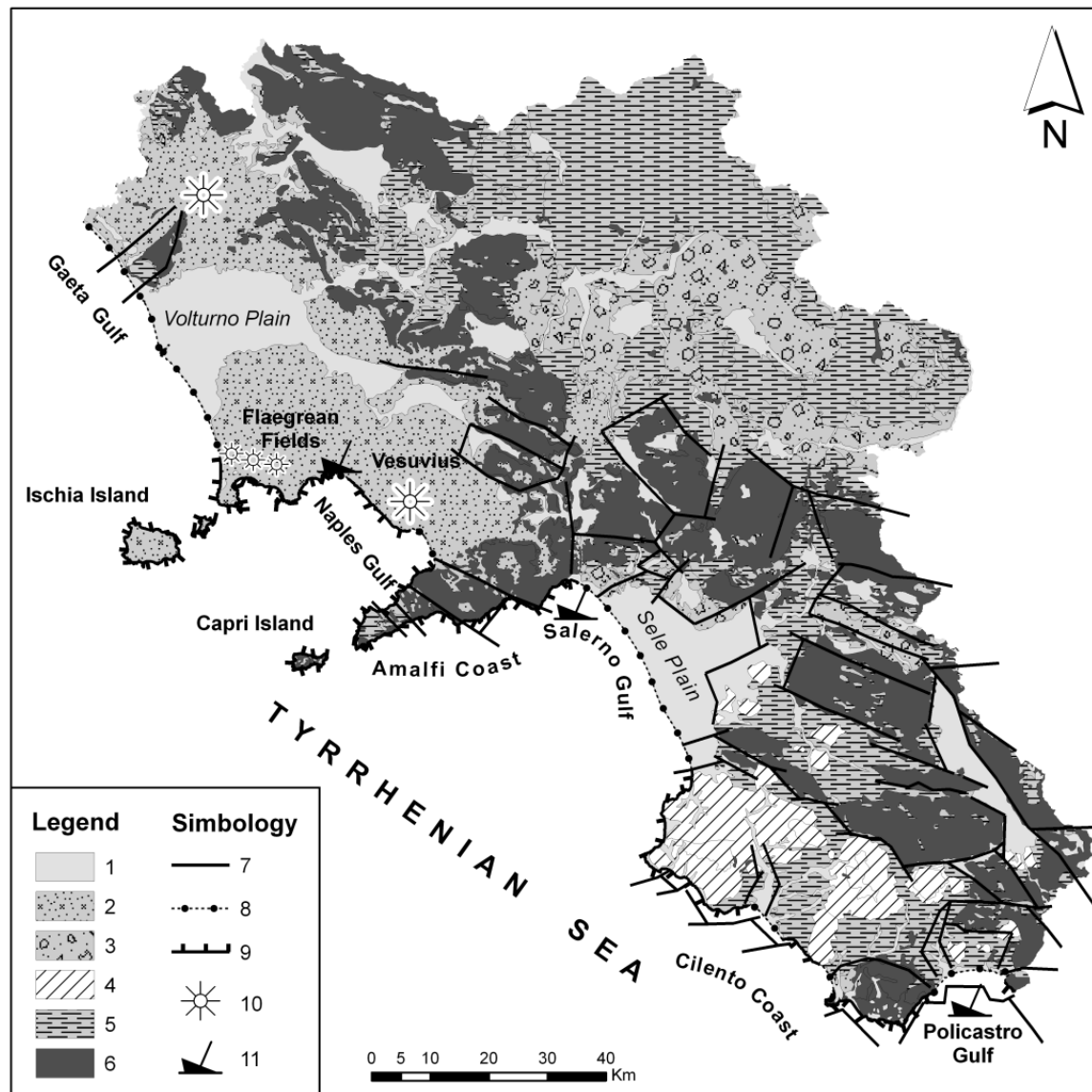


Fig. 3.6: Carta geologico-strutturale della Campania semplificata. Legenda: 1. Depositi clastici detritico-alluvionali quaternari, a luoghi lacustri e marini; 2. Vulcaniti e vulcanoclastiti; 3. Successioni clastiche plio-quaternarie in facies marina, fluvio-lacustre e di transizione; 4. Successioni terrigene arenaceo-conglomeratiche appartenenti al Gruppo del Cilento; 5. Successioni prevalentemente terziarie argilloso-marnose di origine interna (Liguridi, Sicilidi e "ad affinità sicilide"); 6. Unità tettoniche carbonatiche meso-cenozoiche di piattaforma carbonatica, in facies di laguna o margine. 7. Faglie; 10. Apparati vulcanici.

Tale sintesi è stata tratta dalla carta geologica dell'Appennino (Bonardi et al., 1988) e dalla Carta Cinematica dell'Appennino Meridionale (Bonardi G. et al. 2009).

3.3. Caratteri insediativi e uso del suolo

La regione Campania presenta particolari situazioni di squilibrio che comportano una eccessiva densità demografica nella fascia costiera e un notevole spopolamento della fascia interna, con conseguente formazione di rilevanti diseconomie esterne e interne Fig. 3.5 – 6). La distribuzione della popolazione residente sul territorio regionale appare decisamente condizionata dall'andamento orografico attraverso un'evidente preferenza per i territori di pianura e per i comuni di riviera. Le difficoltà orgogeniche, proprie della carena appenninica determinano un addensamento della rete viaria e ferroviaria nella zona nord occidentale, dove le morfologie poco accentuate favoriscono un migliore sviluppo infrastrutturale (Fig.3.6.). Per lo studio sono stati utilizzati i dati ufficiali relativi all'uso del suolo del *Corine Land Cover* a quattro classi, liberamente distribuiti dal Ministero.



Fig.3.4. Carta amministrativa dei comuni e delle provincie

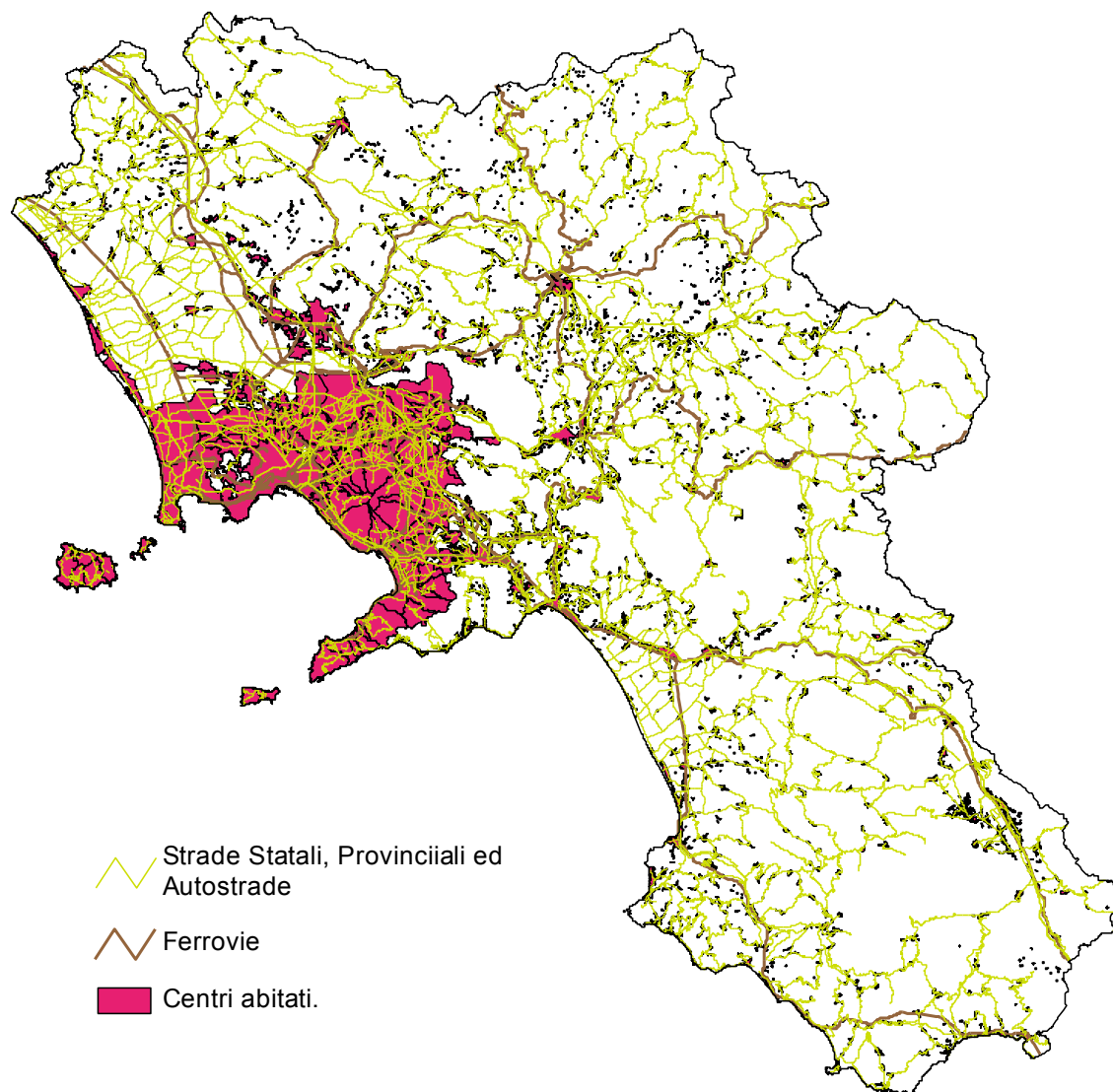


Fig. 3.5. Carta della principale rete dei trasporti e dei centri abitati

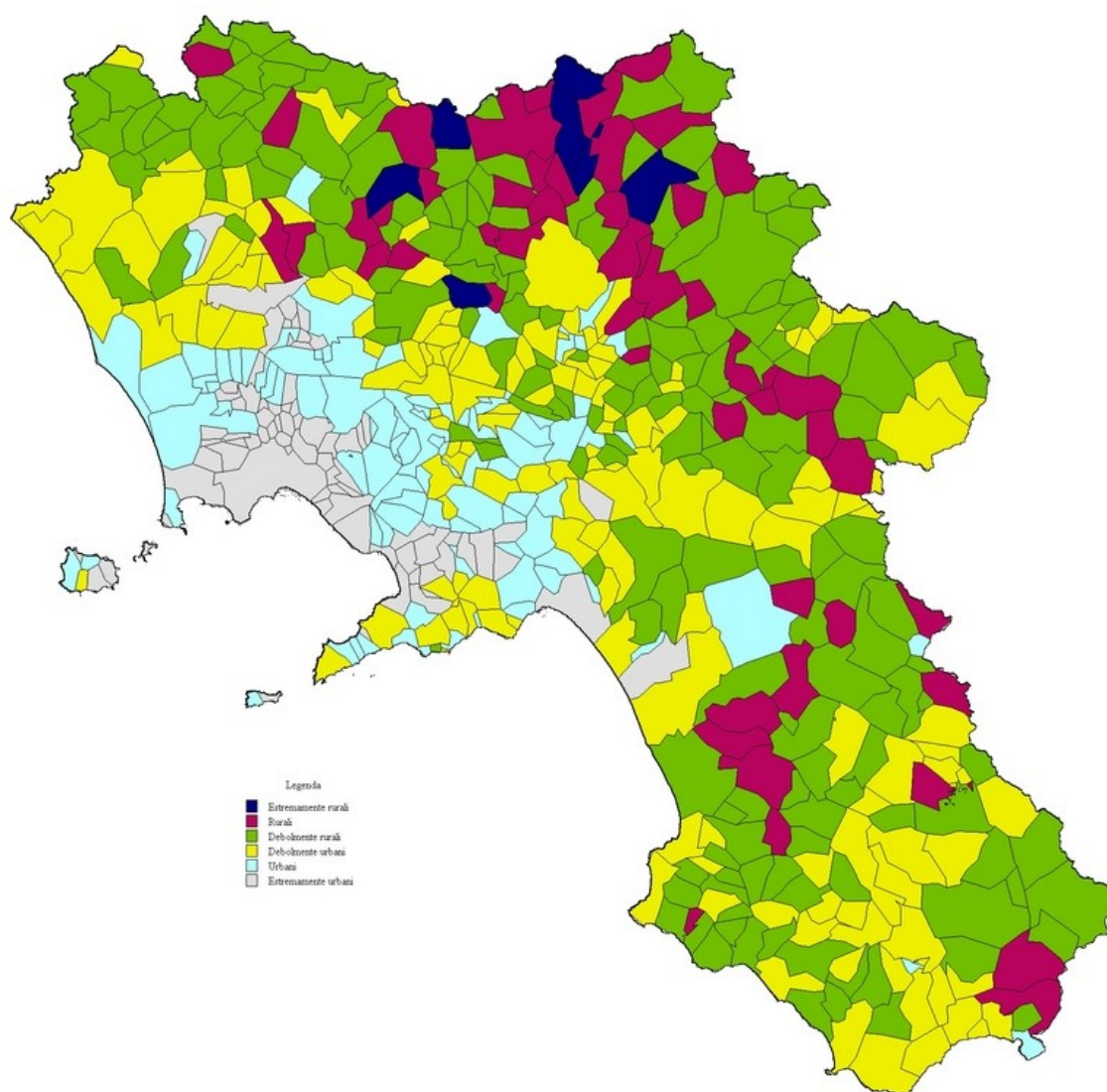


Fig. 3.6. Carta delle Aree Urbane della Campania

4. Acquisizione, sistemazione e rappresentazione dei dati

Nel presente capitolo, si illustrano le attività svolte per l'acquisizione dei dati ritenuti necessari per lo svolgimento della ricerca, i criteri e le procedure utilizzate per la loro archiviazione utile alla elaborazione dei dati stessi ed, infine, allo loro rappresentazione in ambiente GIS.

4.1 *Cartografia di base e modello digitale di terreno*

La prima e fondamentale attività è stata quella di acquisire e organizzare la cartografia topografica di base su cui implementare la cartografia tematica e le elaborazioni informatiche.

In considerazione delle finalità della ricerca, sono state utilizzate due basi cartografiche, la prima 1:250.000 omogenea per l'intera Campania, la seconda, in scala 1:5.000, relativa alle zone di approfondimento.

Per ciascuna è stato elaborato un Modello Digitale di Terreno per l'acquisizione dei caratteri morfometrici e la elaborazione di modelli interpretativi in ambiente GIS.

4.1.1 *Cartografia di base alla scala 1:250.000 e 1:25.000*

Per la rappresentazione degli elaborati a scala regionale è stata utilizzata una base cartografica in scala 1:250.000, i cui dati topografici ed infrastrutturali sono sufficienti per la restituzione cartografica degli elaborati. Per esempi di dettaglio delle rappresentazioni a scala regionale, è stato utilizzata la cartografia STR della Regione Campania.

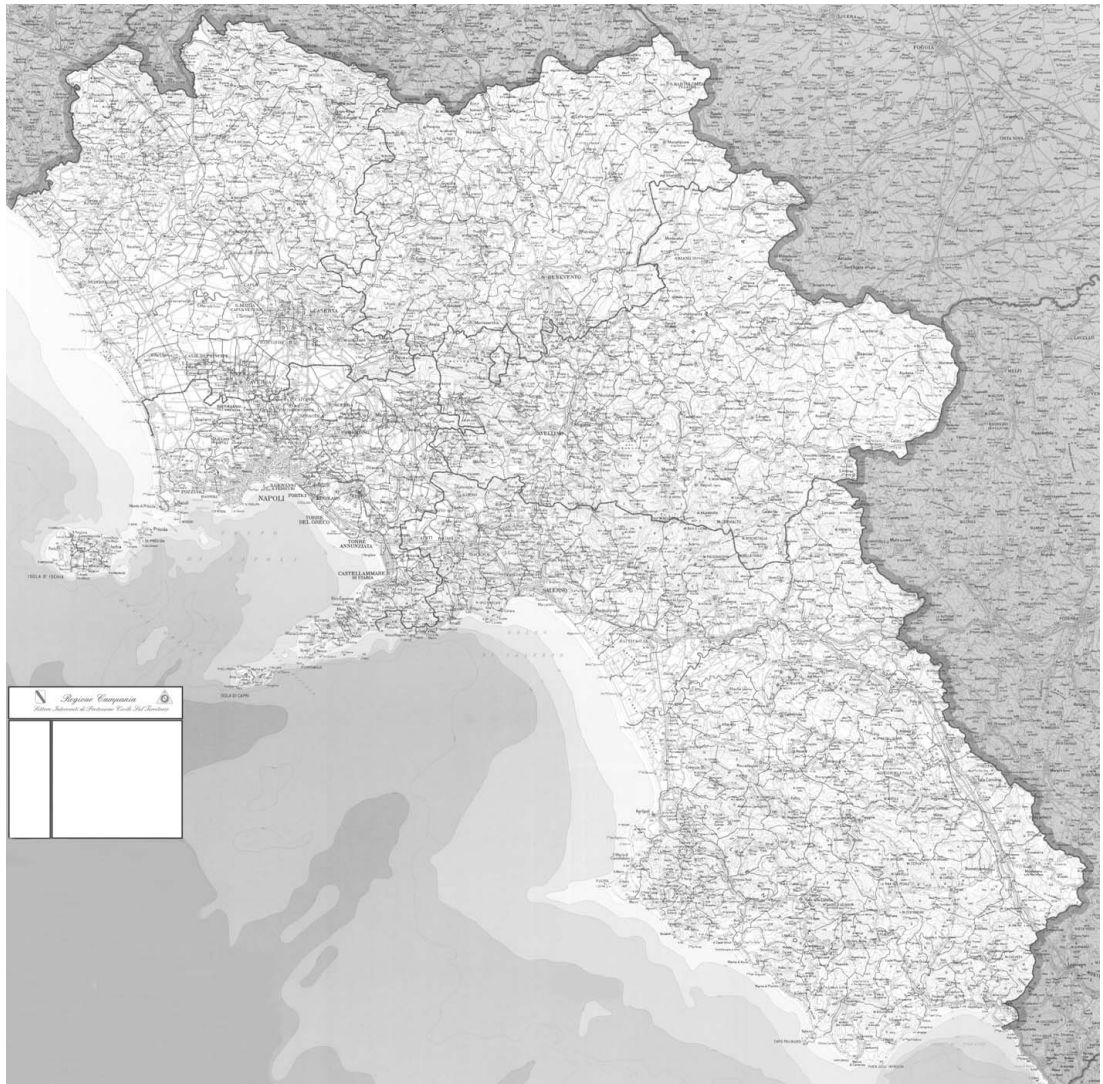


Fig. 4.1. Carta topografica in scala 1:250.000 della Regione Campania.

4.1.2 Cartografia di base scala 1:5.000

Per gli studi a scala di dettaglio e la realizzazione del modello digitale del terreno (DEM), è stata utilizzata la Carta Tecnica Regionale prima versione datata 1998, frutto della restituzione cartografica di foto aeree dei primi anni novanta. La cartografia, organizzata in *layer*, fornisce un quadro esaustivo sia sulla morfologia dei luoghi, sia sull'utilizzo del suolo.

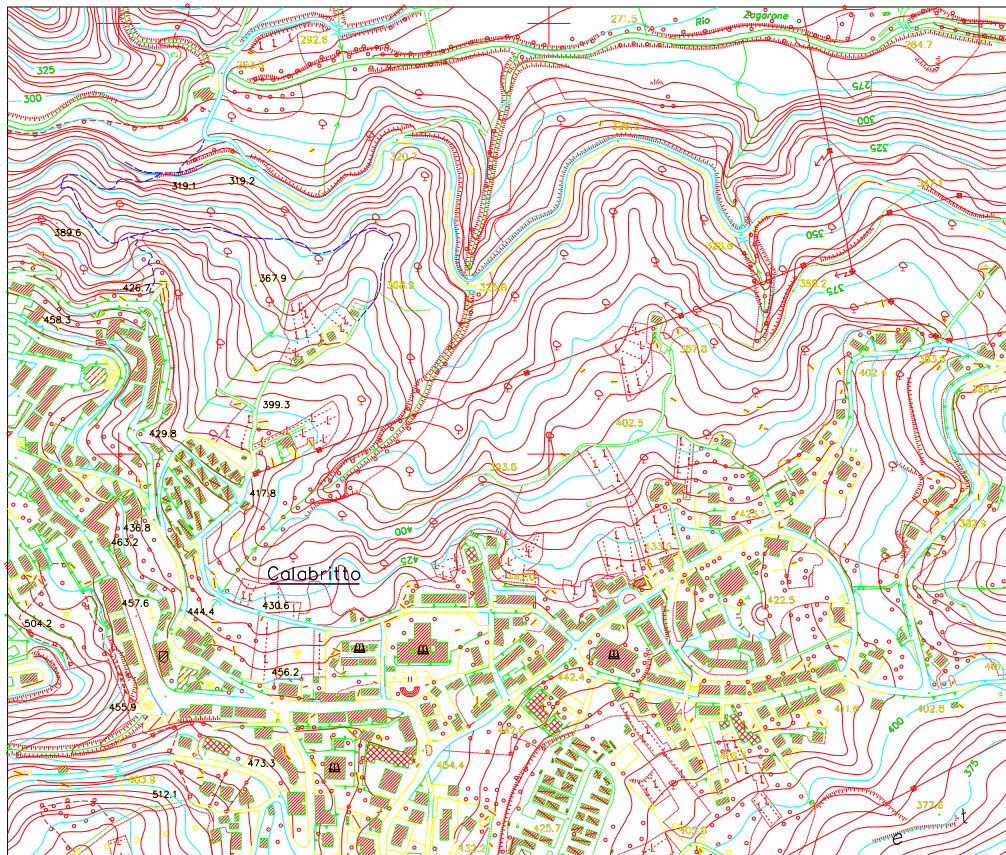


Fig. 4.2. Carta topografica in scala 5000, elemento n.468031 “Calabritto”, della Regione Campania.

4.2 Modello digitale di terreno (Digital Elevation Model, DEM)

Dall’insieme delle cartografie di dettaglio, sono stati estratti i layer relativi alle curve di livello principali e secondarie in formato vettoriale. Dall’insieme delle curve di livello si è costruito un TIN (Triangulated Irregular Network). Il modello TIN si può definire una topologia variabile, cioè si può aggiornare in base alle esigenze (aggiungere strade edifici ecc.). Per lo scopo della ricerca ci si è limitati alle sole curve di livello ed alla fine si è convertito il TIN in un DEM (Digital Elevation Model). Il DEM rispetto al TIN occupa senz’altro una maggior quantità di memoria, possiede però il vantaggio di non avere bisogno di una topologia interna, il che rende il modello DEM molto veloce e insostituibile per l’analisi del dato.



Fig. 4.3: Modello Digitale del Terreno (DEM: Digital Elevation Model, Cella 20x20) della Regione Campania, Scala 1:250.000; Elaborazione in ambiente raster; Programma ArcGIS ; Fonte: CTR Regione Campania.

Sulla base del DEM, sono state approntati livelli tematici di carattere morfometrico, come ad esempio, la carta delle Classi di Acclività a due e a 9 classi mostrate rispettivamente in Fig. 4.4 e Fig. 4.5.

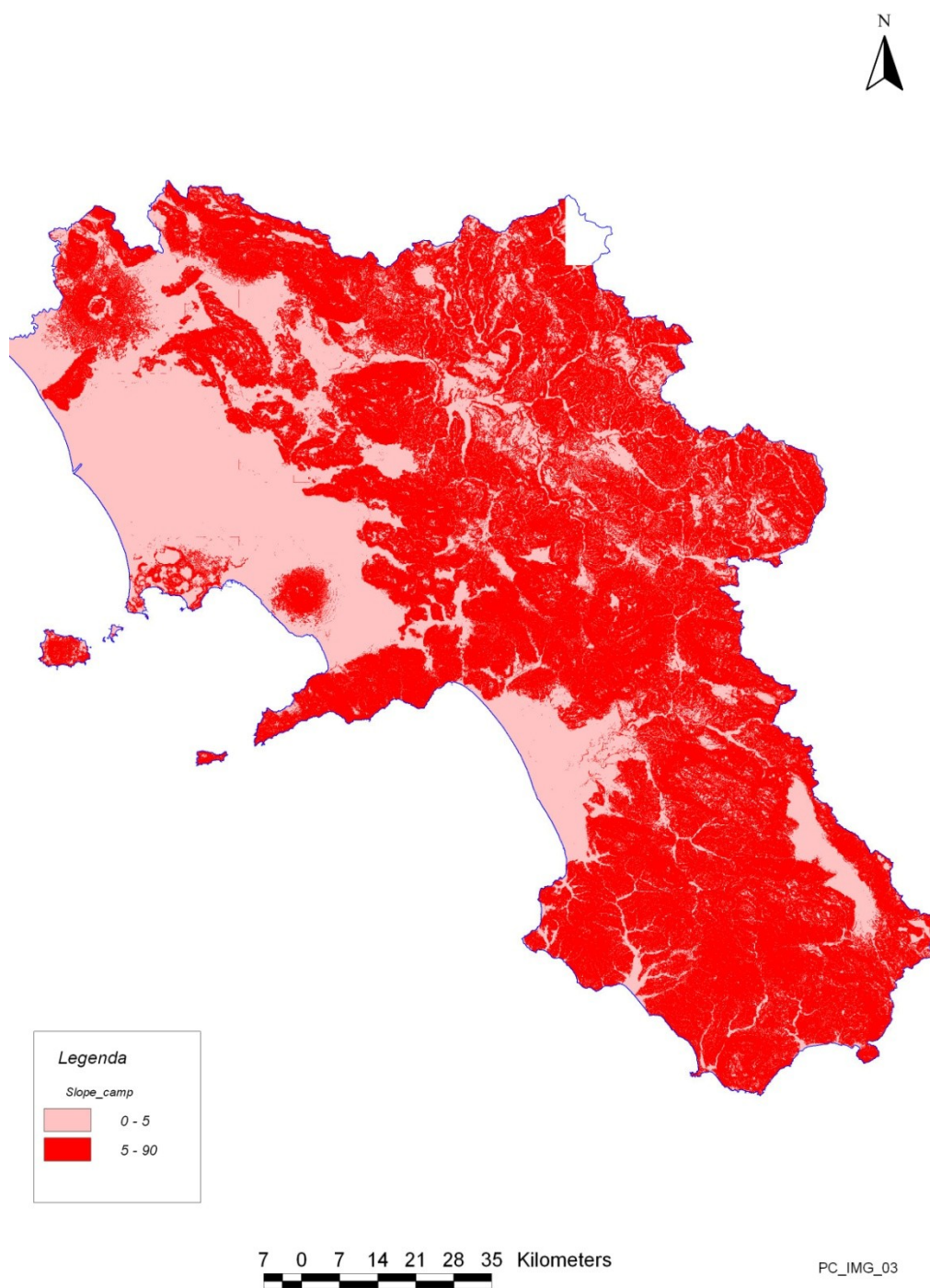


Fig. 4.4: Carta delle classi di acclività significative per l'intero territorio campano.

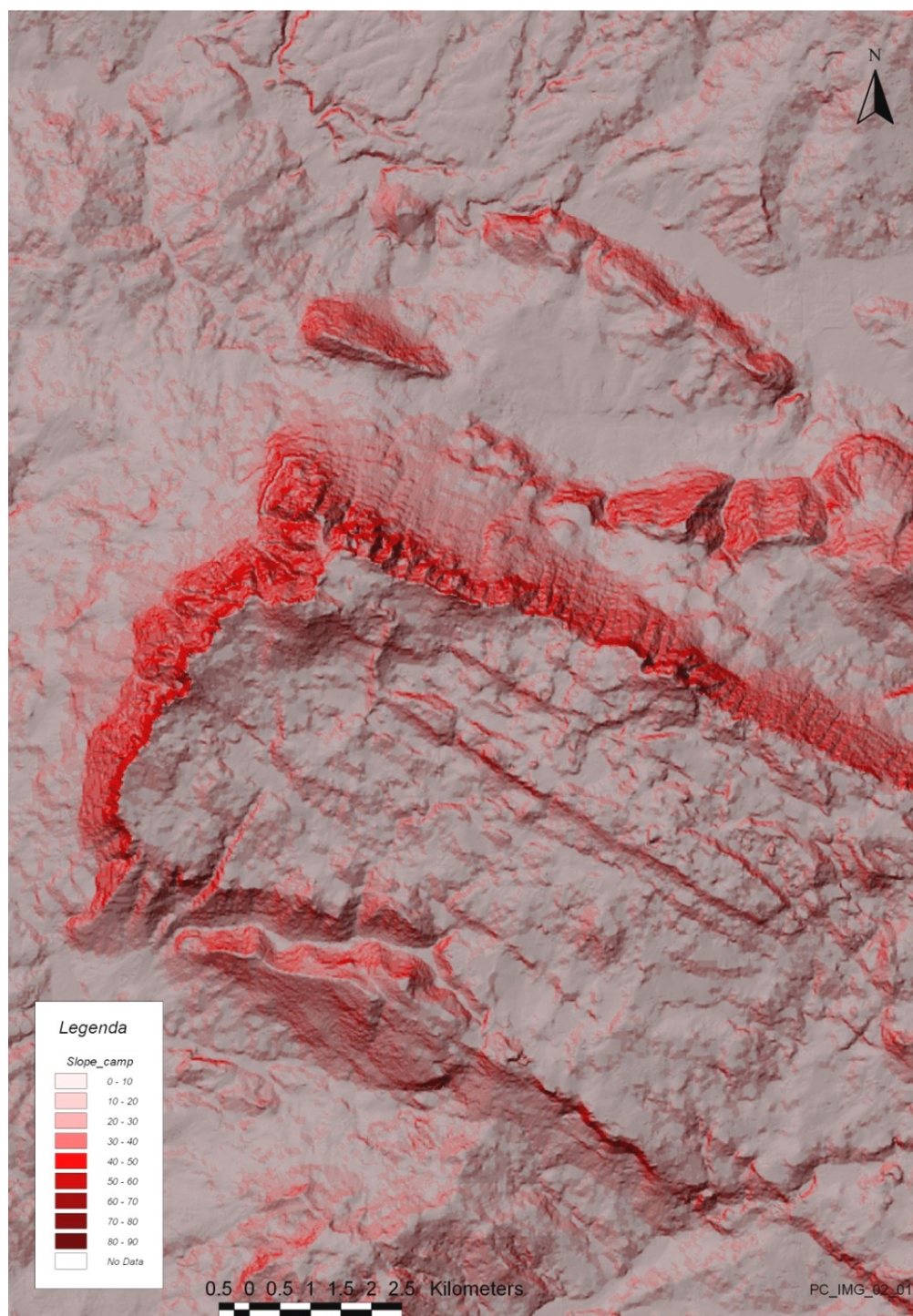


Fig. 4.5: Carta delle classi di acclività significative per gli approfondimenti a scala locale.

4.2 Cartografia tematica e banca dati a scala regionale

Al fine di caratterizzare il territorio in esame in termini di fattori di controllo delle fenomenologie franose oggetto della ricerca, sono state redatte le cartografie tematiche ritenute necessarie: carta geolitologica, carta geomorfologica quantitativa e carta lito-morfo-climatica.

Queste ultime costituiscono le componenti di fondo del sistema ambientale ed Antropico secondo la definizione delle Unità Territoriali di Riferimento (De Vita et al. 1996, Guida et al. (1996). A tal scopo sono state redatte delle cartografie tematiche che rappresentano alcuni tra i maggiori fattori predisponenti che caratterizzano i fenomeni franosi.

Pertanto, è stata anche approntata la carta Inventario dei Sistemi Franosì della Campania, che essendo, i fenomeni oggetto di ricerca, immediatamente di seguito si descrive.

4.2.1 Inventario dei sistemi franosi

La carta dei fenomeni franosi, è stata in seguito trasformata in carta dei sistemi franosi applicando la proposta tassonomica.

La prima parte della raccolta e revisione, in termini di qualità ed omogeneizzazione dei dati, ha riguardato il reperimento, laddove disponibili, delle aree in frana cartografate dalle Autorità di Bacino della Regione Campania nel redigere i Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, parte integrante della pianificazione di bacino.

Per alcune zone ricadenti nei bacini afferenti alla Regione Puglia (Calaggio, Osento, parte alta del Sele) è stata condotta una campagna di rilevamento mediante aereofoto in stereoscopia con controlli a campione sul terreno.

La differenza di metodologie e di scala, adottate dalle Autorità nel rilevamento dei fenomeni franosi, ha reso piuttosto difficoltoso l'omogeneizzazione dei dati rendendosi spesso necessaria una reinterpretazione dei dati mediante l'utilizzo di cartografia di dettaglio in scala 1:5000.

I fenomeni franosi, insieme alle forme erosionali, deposizionali ad accrescimento rapido (conoidi detritico-alluvionali), ai *creep* superficiali e profondi ed alle deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV) sono stati codificati in funzione della massima intensità attesa secondo il seguente schema:

Intensità massima attesa ALTA (Int_red): tutti i fenomeni la cui attivazione e/o mobilitazione è intesa come rapida secondo la classifica di Cruden & Varnes (1994). La fase parossistica può risultare catastrofica con la possibile perdita di vite umane e danni ingenti alle strutture ed infrastrutture.

Intensità massima attesa MEDIA (Int_ylw): sono stati inclusi in questa categoria i fenomeni la cui mobilitazione può recare danno a strutture ed infrastrutture ma la cui velocità moderata permette l'evacuazione o l'interdizione delle aree interessate in un lasso di tempo ragionevole.

Intensità massima attesa Bassa (Int_grn): appartengono a questa categoria le deformazioni sia superficiali sia gravitative profonde la cui attività non interferisce in maniera significativa con il tessuto urbano, rurale o infrastrutturale. Sono inoltre codificate anche i fenomeni franosi inattivi, cioè la cui rimobilitazione risulta molto improbabile.

TIPOLOGIA	STATO DI ATTIVITA'		
	attivo	quiescente	inattivo
Colata rapida di fango			
Colata rapida in terreni a prevalenza argillosa			
Colata rapida di Detrito (<i>Debris Flow</i>)			
Crollo e ribaltamento in roccia			
Crollo e ribaltamento in terra			
Aree in erosione accelerata			
Conoide detritico - alluvionale			
Colata lenta in terreni a prevalenza argillosa			
Scorrimento rotazionale			
Scorrimento traslativo			
Scorrimento(r.,t.) – colata lenta			
Scorrimento(r.,t.) – colata rapida			
Creep superficiale			
Creep Profondo			
Deformazioni gravitative profonde di versante			
LEGENDA Intensità massima attesa			
		ALTA	
		MEDIA	
		BASSA	

Tabella 4.2.1. Classificazione dei fenomeni in funzione della massima intensità attesa

Le attività di raccolta e sistematizzazione dei fenomeni franosi, come esposto in precedenza, ha permesso di identificare e delimitare 18064 sistemi franosi (Guida et al., 1988) di cui la maggioranza dei casi, sia in numero, sia in estensione areale, presentano un'intensità massima attesa media.

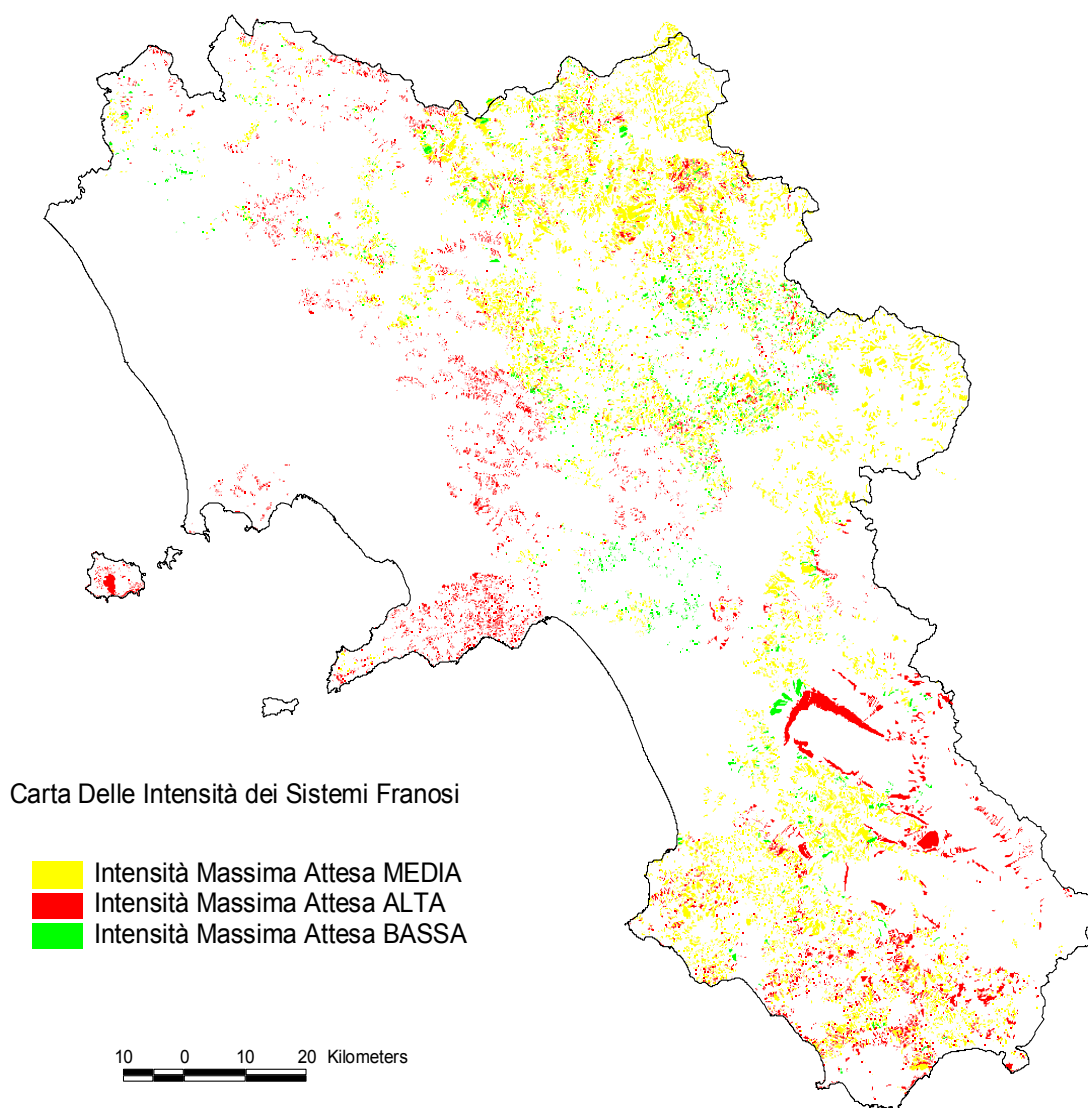


Fig.4.6. Carta inventario dei Sistemi Franosi in funzione dell'intensità attesa

Con il termine “Sistema Franoso” si fa riferimento ad una proposta di classificazione tassonomica dei fenomeni franosi proposta da Guida D et al. (1995) che, in riferimento ai “requisiti di integrazione referenziale proposti da De Vita et alii (1994) per il trasferimento ed il trattamento automatico di carattere geologico”.

La classificazione tassonomica consente di:

1. codificare in modo automatico e progressivo
2. verificare la congruenza gerarchica
3. collegare il database grafico e non grafico (attributi).

Questa codifica ha affrontato per la prima volta la problematica degli *insiemi di frana* e si basa sui caratteri basilari di riconoscimento:

- Tipologia
- Età
- Stato di attività

In base ad essa le frane possono essere distinte in:

- **Frana singola** (Varnes, 1978);
- **Frana complessa** (Varnes, 1978);
- **Associazione di frane:** insieme di frane dello stesso tipo, età e stato di attività;
- **Gruppo di frane:** insieme di frane dello stesso tipo, età e diverso stato di attività;
- **Famiglia di Frane:** insieme di frane dello stesso tipo ma con diversa età e stato di attività;
- **Sistema di frane:** insieme di frane di diverso tipo, età e stato di attività






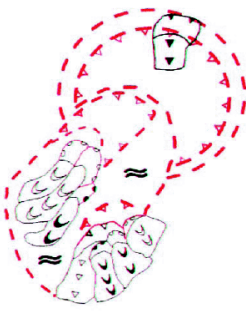
	N. SCHEDA	DESCRIZIONE	CODIFICA TASSONOMICA
	0001	FRANA SINGOLA tipo colata lenta, attuale, attiva.	0001L
	0002	FRANA COMPLESSA Scorrimento attuale, attivo	0002ci0003L
	0003	in colata rapida attuale attiva	0003ci0002L
	0004	ASSOCIAZIONE DI FRANE	0001L0001A
	0005	Insieme di frane tipo colata lenta	0002L0001A
	0006	attuale, attive con :	0003L0001A
		A:=TF=ET=ST	
	0007	GRUPPO DI FRANE	0001L0001G
	0008	Insieme di frane tipo colata	0002L0001G
	0009	lenta dello stessa età e con	0001L01A0001G
	0010	diverso grado di attività	0002L02A0001G
		G:=TF=ET#ST	
		FAMIGLIA DI FRANE	
	0011	Insieme di frane tipo colata	0001L0001F
	0012	lenta con diverse età e	0002L0001F
	0013	stato di attività.	0001L01G0001F
	0014	F:=TF#ET#ST	0002L01G0001F
	0015		0003L01F
	0016	SISTEMA DI FRANE	011.001S
	0017	Insieme di frane di	02L001S
	0018	diverso tipo, di diversa età	00180001F001S
	0019	in diverso stato di attività.	01L01A01F00018L001S
	0020	S:=TF#ET#ST.	02L01A01F00018L001S
	0021		01L01F00018L001S
	0022		0022002F001S
	0023		01L01G02F00022L001S
	0024		02L01G02F00022L001S
	0025		01L02F00022L001S

Fig. 4.7: Schema della Classifica Tassonomica dei Fenomeni Franosi (da Guida D. e tal.(1995).

Un tipico esempio di sistema franoso rilevante, inserito nel relativo ambito morfologico, è mostrato in Fig. 4.8.

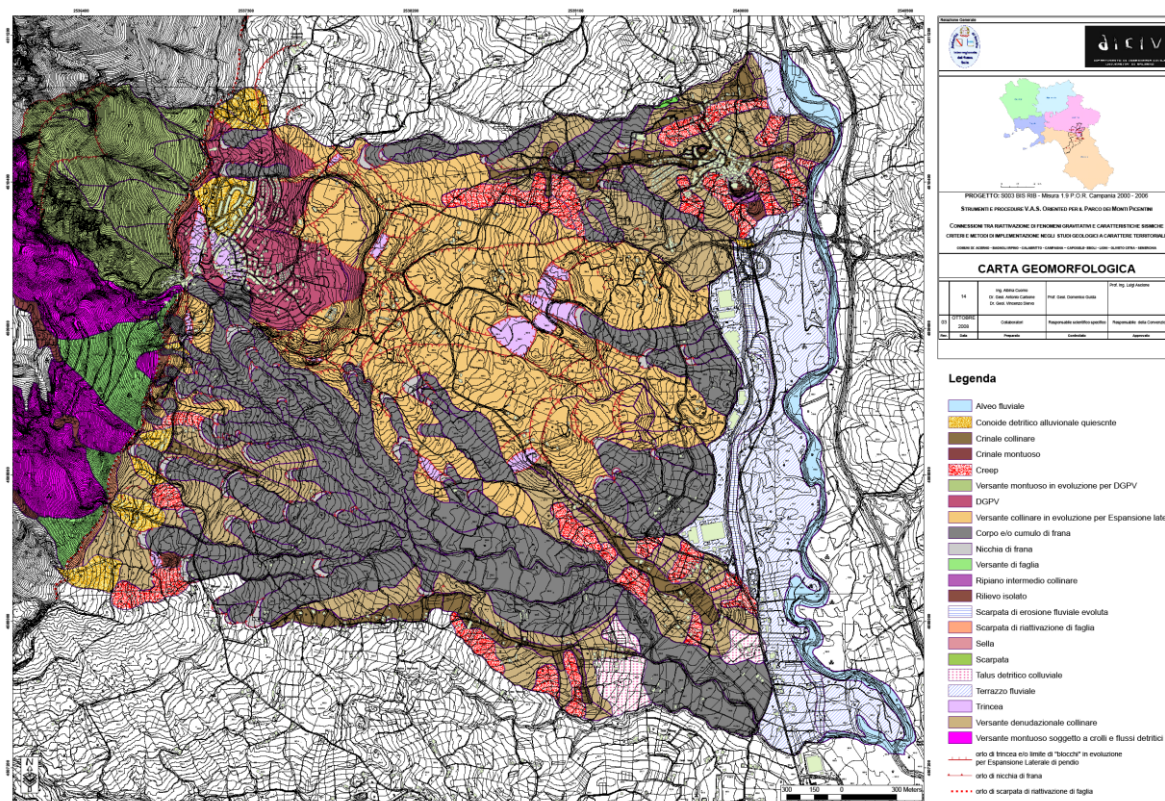


Fig. 4.8: Carta del Sistema Franoso di Serra dell'Acquara, presso Senerchia. Per gentile concessione del prof. D. Guida.

Per quanto attiene l'oggetto della ricerca, ci si riferisce soprattutto ai grandi sistemi franosi delle aree collinari modellate sulle successioni strutturalmente complesse della Campania.

Le grandi frane complesse ad evoluzione lenta e cinematisimo intermittente rappresentano i fenomeni franosi più rilevanti e diffusi lungo i versanti collinari prevalentemente marnoso-argillosi dell'Appennino campano - lucano-molisano. Questi fenomeni si riscontrano soprattutto laddove si concretizzano condizioni predisponenti all'innesco di grandi deformazioni e rotture che, coinvolgendo rilevanti volumi di materiale (Guida D. et al., 1988a), evolvono a lungo termine, configurando "sistemi franosi" complessi e composti, con fenomeni singoli nidificati e successivi di diversa tipologia, età e stato di attività (Guida D. et al., 1988 b). Questi fenomeni, praticamente endemici, provocano gravi danni agli insediamenti, alle infrastrutture ed al sistema ambientale in genere, ponendo limiti allo sviluppo socio-economico locale (Guerricchio, et al., 1995; Schuster, R.L., 1996) ed inducendo situazioni che, a volte, attengono alla incolumità delle persone e richiedono interventi di protezione civile (Guida et al, 1996). Le problematiche più rilevanti poste da tali fenomenologie attengono principalmente alla loro individuazione, riconoscimento (Rib & Liang, 1978) e delimitazione (Cotecchia, 1978),

nonché alle modalità e tempi di riattivazione parziale o totale (Pellegrino, 1986; Guida et al., 1988; Guida & Iaccarino, 1991, Guida et al, 2006). Il problema costituisce, inoltre, uno dei principali campi di ricerca riguardanti la stabilità dei versanti appenninici e rappresenta un passo importante nella valutazione della loro pericolosità geomorfologia multitematica, coinvolgendo la dinamica dei fondovalle (landslide - induced dam-break) e la riposta sismica di versante (seismic - induced landslides)

La Carta Inventario delle Frane relative al territorio della Regione Campania, è stata presentata al convegno A.I.G.E.O. (Associazione Italiana Geografia Fisica e Geomorfologia), considerata “prototipale” in quanto i prodotti cartografici costituiscono parte di un Sistema Informativo Territoriale, è stata effettuata attraverso una fase di implementazione che comprende la completa revisione, integrazione, omogeneizzazione, sistematizzazione multiscalare e multidimensionale dei dati disponibili, il tutto strutturato in maniera interoperabile tra le frane ufficialmente disponibili, derivanti dalle cartografie ufficiali e quelle di nuovo inserimento.

La carta inventario rappresenta la forma più semplice di cartografia delle frane (Hansen, 1984; Wieczorek, 1984; UNESCO, 1985, WP/WLI, 1993; Soeters & Van Westen, 1996) e costituisce la base per ulteriori analisi sulla pericolosità da frana di un determinato territorio (Guzzetti et al., 2000; Cardinali et al., 2002) e per impostare corretti e razionali processi decisionali di pianificazione territoriale, sviluppo socio-economico (Brabb et al., 1989; Schuster, R.L., 1996) ed interventi di emergenza a seguito di disastri naturali.

Nonostante tale importanza, recentemente, la letteratura specialistica ha dedicato maggiore attenzione alle tecniche di analisi sulla distribuzione statistica ed alle elaborazioni metodologiche per la valutazione della suscettibilità, pericolosità e rischio da frana, rispetto alla necessità di adeguare ed ottimizzare i criteri di rappresentazione e trattamento della grande quantità dei dati di base sulle frane a scala globale, nazionale e regionale.

In generale, tale elaborato riporta la localizzazione, la delimitazione e, se nota, la data o l'epoca di occorrenza, nonché la tipologia e lo stato di attività dell'evento franoso che ha lasciato traccia visibile lungo il versante, in altre parole di cui si hanno notizie storiche e relazionali sufficienti per una sua attendibile localizzazione e tipizzazione, anche in assenza di evidenze attuali di movimento o di materiale. In particolare,

Le carte inventario delle frane basate su criteri geomorfologici (Rib and Liang, 1978) ricadono in due differenti categorie (Malamud et al., 2004): (1) inventario degli eventi-frana (landslide - event inventory), che rappresenta le frane associate a singoli

fattori e momenti di innesco e (2) inventario storico delle frane (historical landslide inventory), che rappresenta la sommatoria cartografica di tutti eventi di frana occorsi nel tempo in una data regione. La Carta Inventario delle Frane supera tale distinzione in quanto, pur rientrando nella seconda delle categorie citate, integra concettualmente ed operativamente gli elementi della prima attraverso analisi aero-fotogrammetriche effettuate su aereofoto di diversa epoca e dati storici (Amanti et al., 1996) ed adottando un criterio di analisi allo metrico che lega, a scala regionale, la dimensione dell'evento al tempo di permanenza della forma.

La metodologia adottata per la redazione della Carta Inventario ha previsto diverse fasi di approfondimento successive fra di loro inter relazionate. La prima fase di studio ha previsto la completa revisione locazionale, dimensionale, tipologica e cronologica delle frane riportate nei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) redatti dalle Autorità di Bacino della Campania attraverso una sistematica rivisitazione delle aerofotogrammetrie di diversa epoca e con riferimento alla recente cartografia tecnica regionale alla scala 1:5.000. La seconda fase ha previsto la integrazione dei fenomeni franosi localizzati nei territori regionali esterni alle AdB e di quelli temporalmente occorsi a partire dalla data di adozione dei vari PSAI. Se pur implementabile in continuo, l'inventario è stato aggiornato fino all'anno 2006, avendo la necessità di terminare la fase di raccolta dati per procedere alle fasi successive della ricerca.

Per quanto esposto gli oggetti presenti nella banca dati non comprendono le pubblicazioni successive e gli aggiornamenti degli Enti preposti alla pianificazione.

Conclusa la fase di inventario, è stato necessario provvedere ad una adeguata omogeneizzazione dei dati, che, nonostante il generale riferimento alla classifica di Cruden & Varnes (1996) ed alle specifiche IFFI (Amanti et al, 1996.), risultavano estremamente disomogenei in terminologia, delimitazione, e caratterizzazione, soprattutto per quanto riguarda i fenomeni complessi e compositi, che ricadono nella categoria dei "sistemi franosi" (Guida D et.al.1995. Il successivo processo di sistematizzazione ha sperimentato un approccio multiscalare e multidimensionale (Cascini et al., 2005) modulato base alle unità territoriali e cartografiche di riferimento significative per le problematiche poste e per le finalità previste. Le entità territoriali di riferimento per la strutturazione dei dati alle varie scale sono di tre tipi: amministrativo, geomorfologico (De Pippo et al., 2007) e cartografico IGMI: a livello regionale, corrispondente alla Regione Morfotettonica, con rappresentazione lineare e puntuale dei dati alla scala di riferimento della base IGM 1:250.000; il livello di maggiore dettaglio è quello provinciale, corrispondente alla

Provincia Morfostrutturale, la cui scala di riferimento è adeguata ad analisi di bacino effettuate sulle basi IGMI comprese tra 1:100.000 e 1:50.000, con rappresentazione areale e differenziazione della zona di distacco ed accumulo; a livello comprensoriale o di sottobacino, corrispondente al Sistema Morfologico, invece, l'approccio esposto in precedenza è stato integrato da quello utilizzato in Guida & Iaccarino (1990) e Guida & Iaccarino (1991), rappresentando anche gli elementi costituenti il fenomeno franoso. Infine, a scala di versante o di evento, corrispondente tassonomico dell'Unità Morfologica, si è fatto riferimento alle indicazioni contenute in Guida et al., (1996) e Corbi et al. (1999), con inserimento anche delle evidenze cinematiche e degli indicatori evolutivi. La fase di elaborazione che previsto la informatizzazione in ambiente GIS delle frane, ciascuna delle quali è stata inserita mediante la ridefinizione delle informazioni contenute nella "Scheda" IFFI (Amanti et al., 1996, Allegato 1 e 5), modulandole al livello di approfondimento richiesto dalla scala di riferimento (Cascini et al., 2005).

In conclusione, l'approccio utilizzato nella redazione della Carta Inventario delle frane della Campania consente di pervenire ad un prodotto che risulta coerente e congruente con quanto illustrato in De Pippo et al. (2007) relativamente alla più generale cartografia geomorfologia e consente di superare il carattere "statico" della procedura IFFI, la cui integrazione con altri tematismi ed interoperabilità con altri sistema di gestione risulta fortemente condizionata dalla struttura rigida del Data Base impostato. Il sistema di gestione predisposto consente, inoltre, di gestire dati complessi come quelli relativi agli insiemi di frana attraverso la implementazione della classifica tassonomica introdotta da Guida et al. (1995), idonea a trattare le relazioni spazio-temporali connesse a fenomeni coalescenti a lenta evoluzione e cinematismo intermittente, nonché di introdurre il concetto di "ambito morfologico significativo" per le frane di primo distacco e ripetitive (crolli e colate rapide superficiali).

4.2.2 Carta geolitologica

Le informazioni geologiche contenute sulla cartografia geologica ufficiale, essendo basata esclusivamente su criteri lito - crono - stratigrafici, come brevemente illustrato nel capitolo precedente, non sono immediatamente utilizzabili in termini di caratteristiche tecniche ai fini applicativi. In tal senso, i contenuti di tali elaborati necessitano di una fase di “trasferimento” in termini litotecnici (Guida et al., 1996), cioè di caratterizzazione in termini di proprietà litologiche, di stato chimico-fisico e di comportamento geomeccanico.

La quantità e la complessità dei dati territoriali coinvolti nello sviluppo di procedure per le analisi di pericolosità geomorfologia su area vasta obbliga l'adozione di tecniche informatiche tipo GIS e, quindi, la definizione di opportuni protocolli di traduzione dei dati cartografici e testuali tradizionali per il loro adeguato trattamento informatico.

La definizione dei fattori geologici concorrenti alla pericolosità geomorfologica necessita di operare su scale differenziate e ciò implica che tale “trasferimento” debba essere adeguato in termini di congruenza gerarchica multiscalare (Dramis et al., 2010). Per quanto esposto, è stata necessaria una riaggregazione e ricodifica dei dati cartografici disponibili, in chiave geolitologica, individuando i Sistemi Litologici significativi (Fig. 4.10).

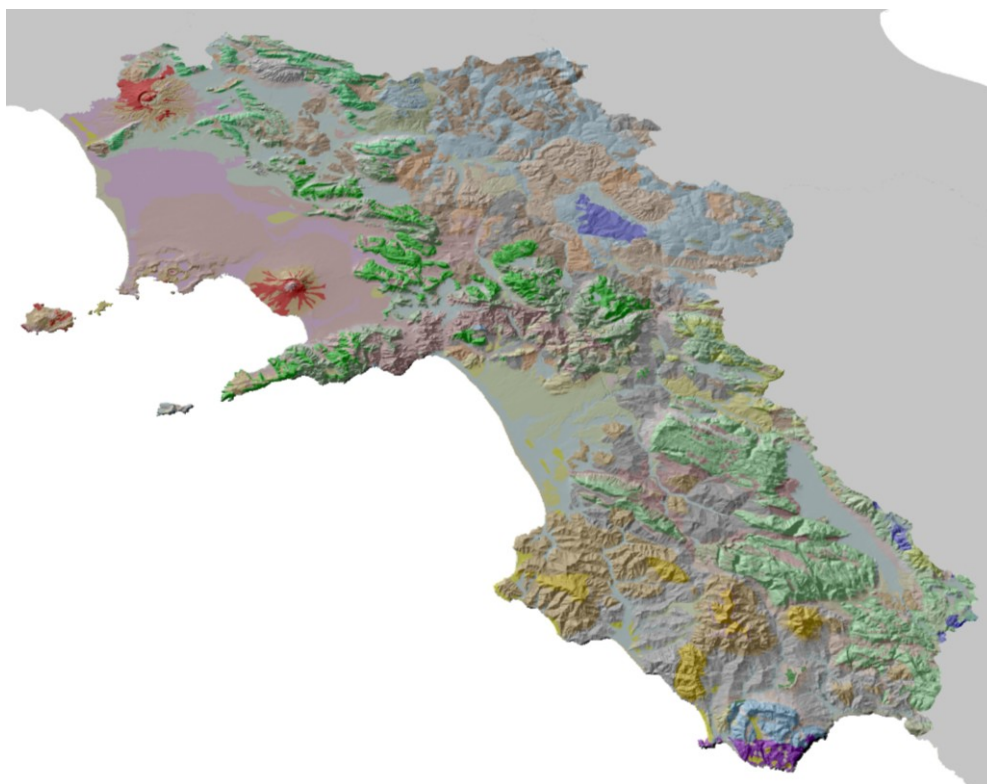


Fig. 4.10: Carta dei Sistemi Litologici della Campania

La Banca Dati Geomorfologica della Università di Salerno ha permesso di ricavare la Carta delle Faglie principali della regione Campania (Fig. 4.11).

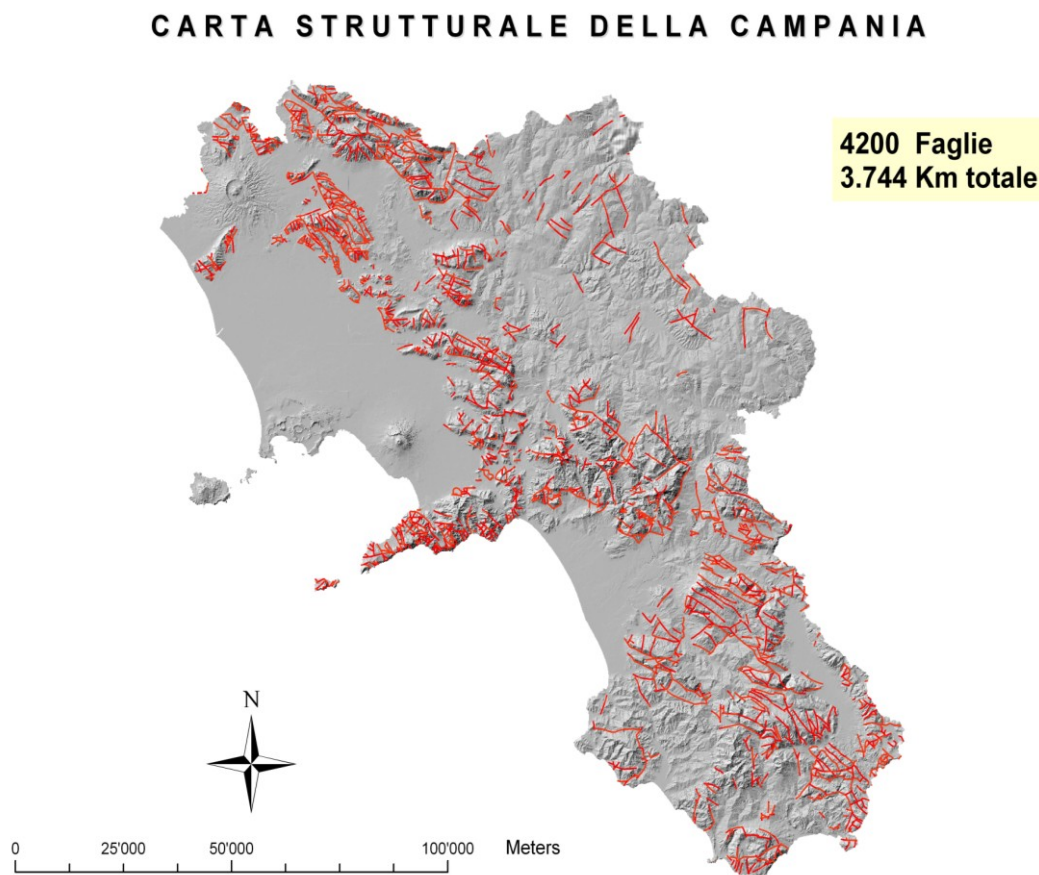


Fig. 4.11: Carta delle faglie principali della regione Campania (Concessione Prof. Guida).

4.2.3 Carta geomorfologica

La cartografia di carattere geomorfologico è stata impostata, avendo come fonte dei dati sempre la Banca dati Geomorfologica dell'Università di Salerno, applicando un approccio di carattere quantitativo, individuando prima le *Landforms*, quali espressioni spaziali di processi geomorfici agenti su materiali differenziati, e rappresentandole, quindi, sulla Carta delle *Landforms* (Fig. 4.12 e stralci come Figg.4.13 e 4.14). Attraverso opportune procedure di generalizzazione esposte in Dramis et al, (2010, in press), le *Landforms* sono state sovrapposte alle fasce altimetriche, ricavando la Carta dei Sistemi Morfologici (Fig. 4.15 e stralci come Figg. 4.14 e 4.15).

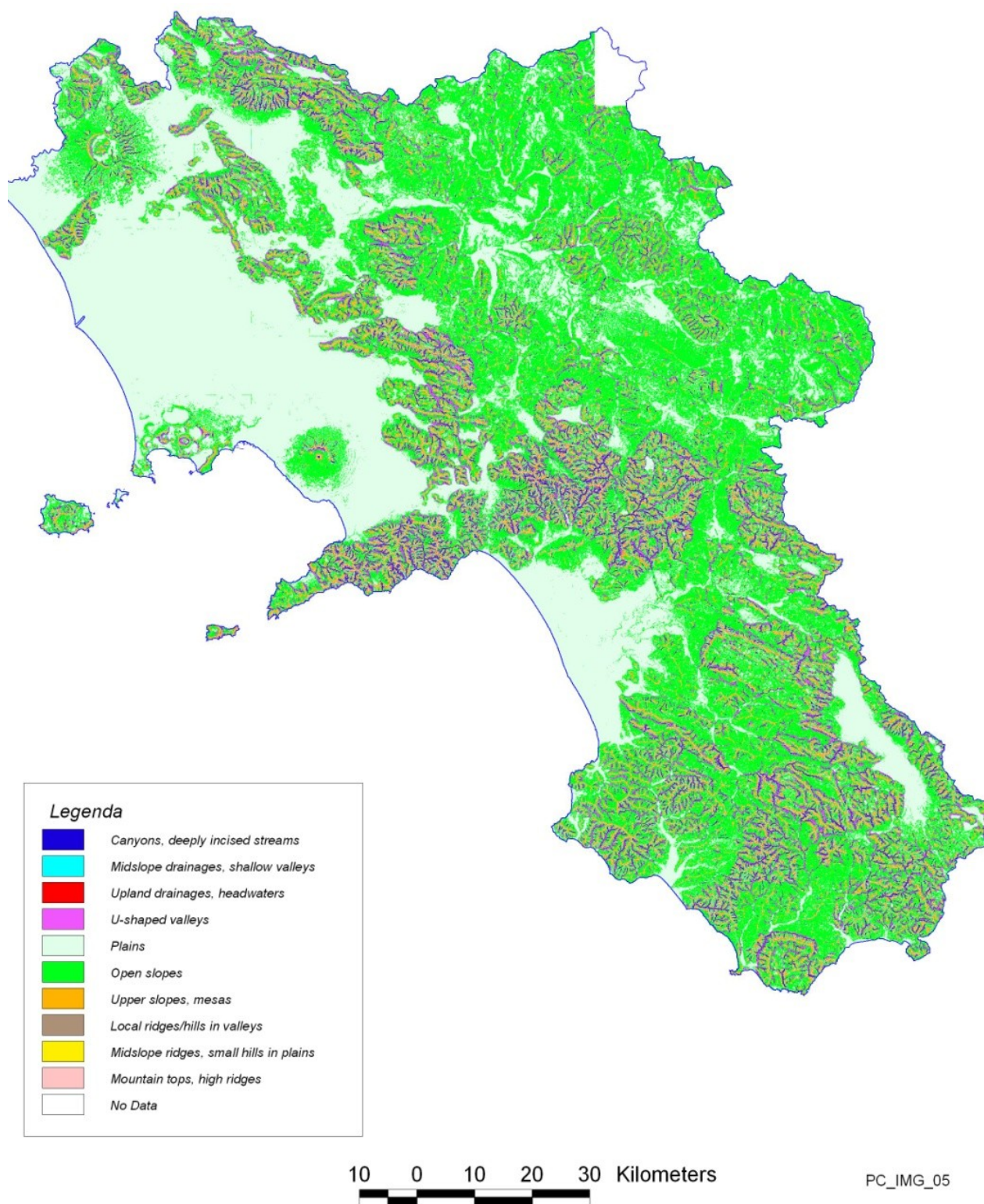


Fig. 4.12: Carta delle Landforms della regione Campania.

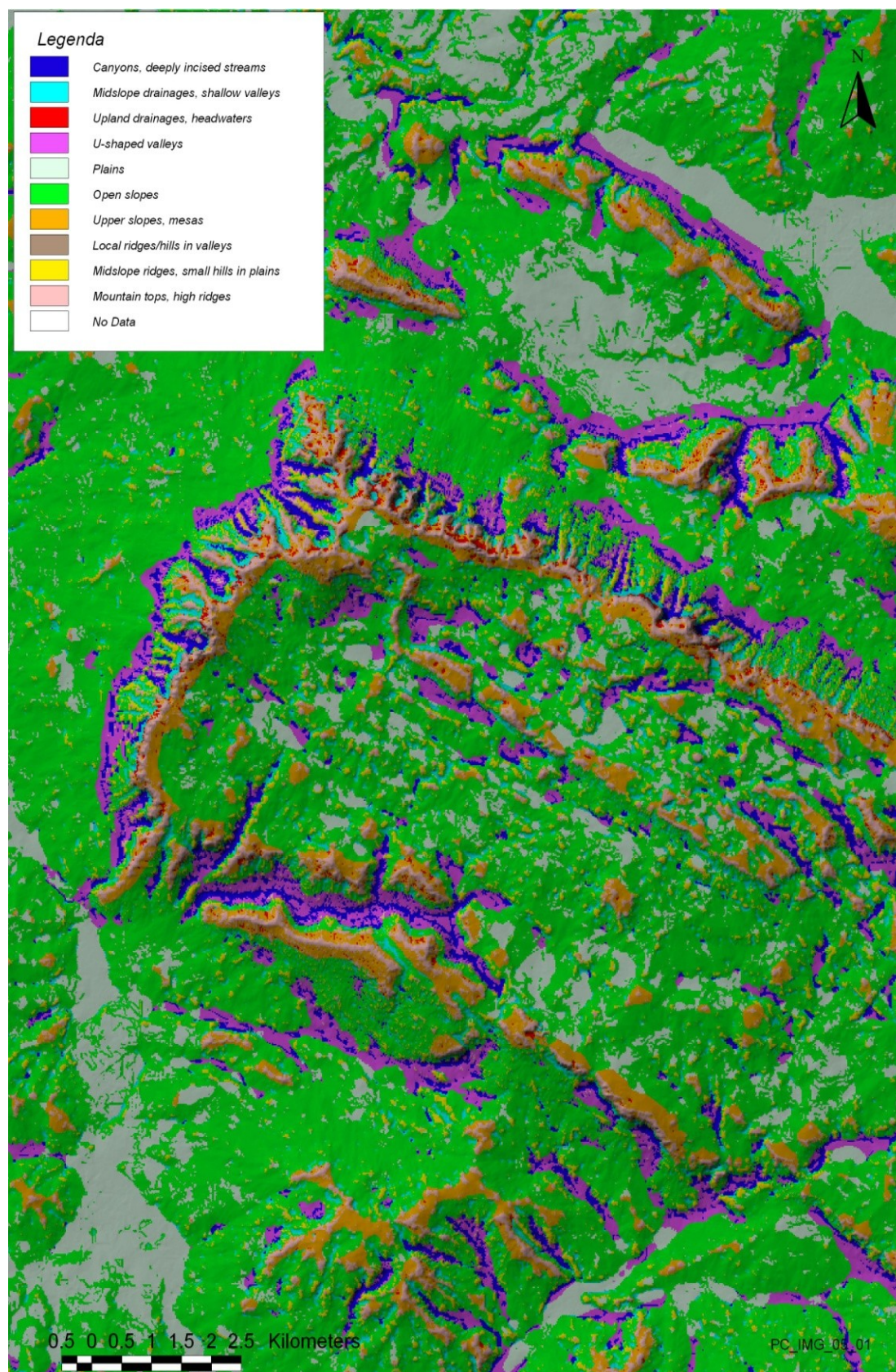


Fig. 4.13: Stralcio della Carta delle Landforms relativo al settore territoriale degli “Alburni”.

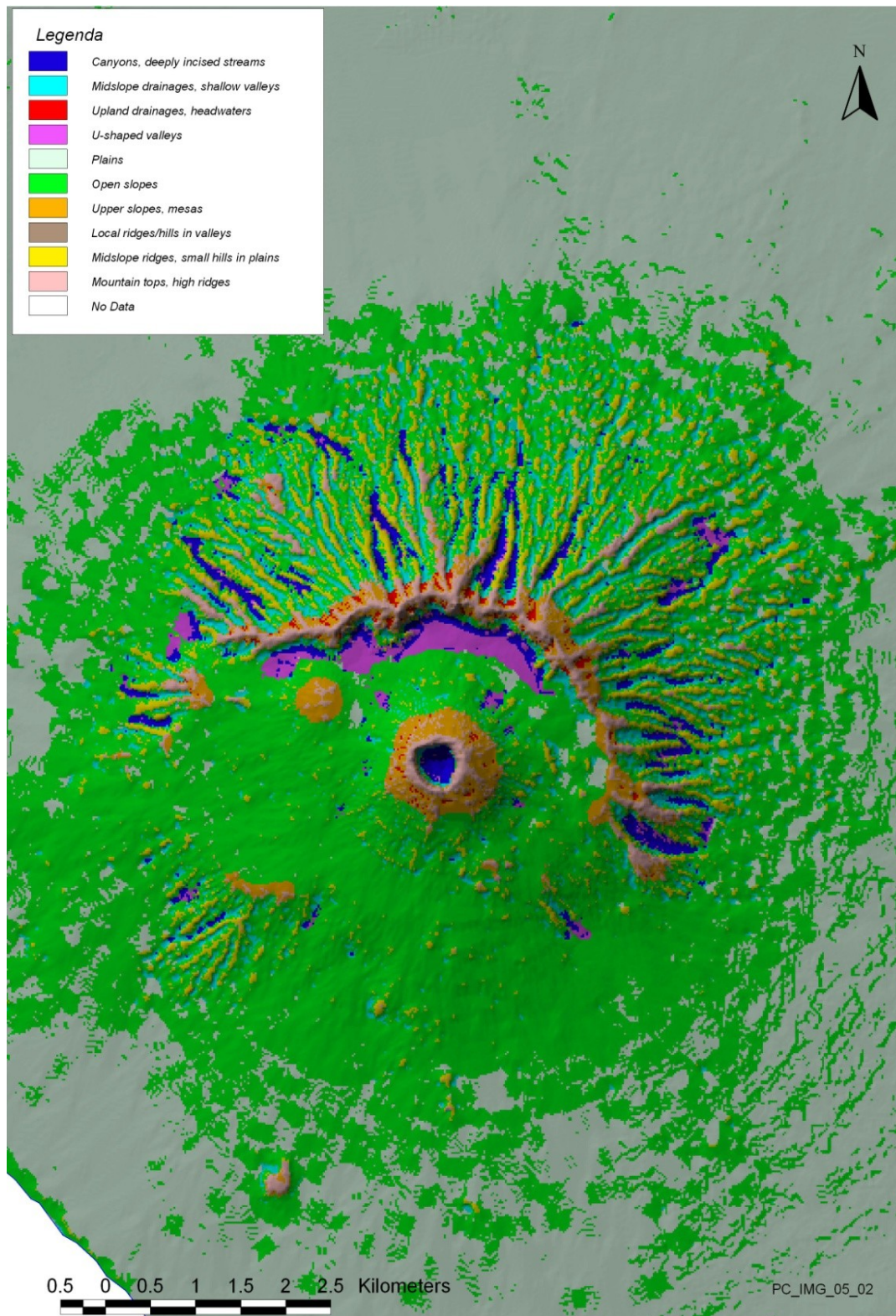


Fig. 4.14: Stralcio della Carta delle Landforms relativo al settore territoriale “Somma-Vesuvio”.

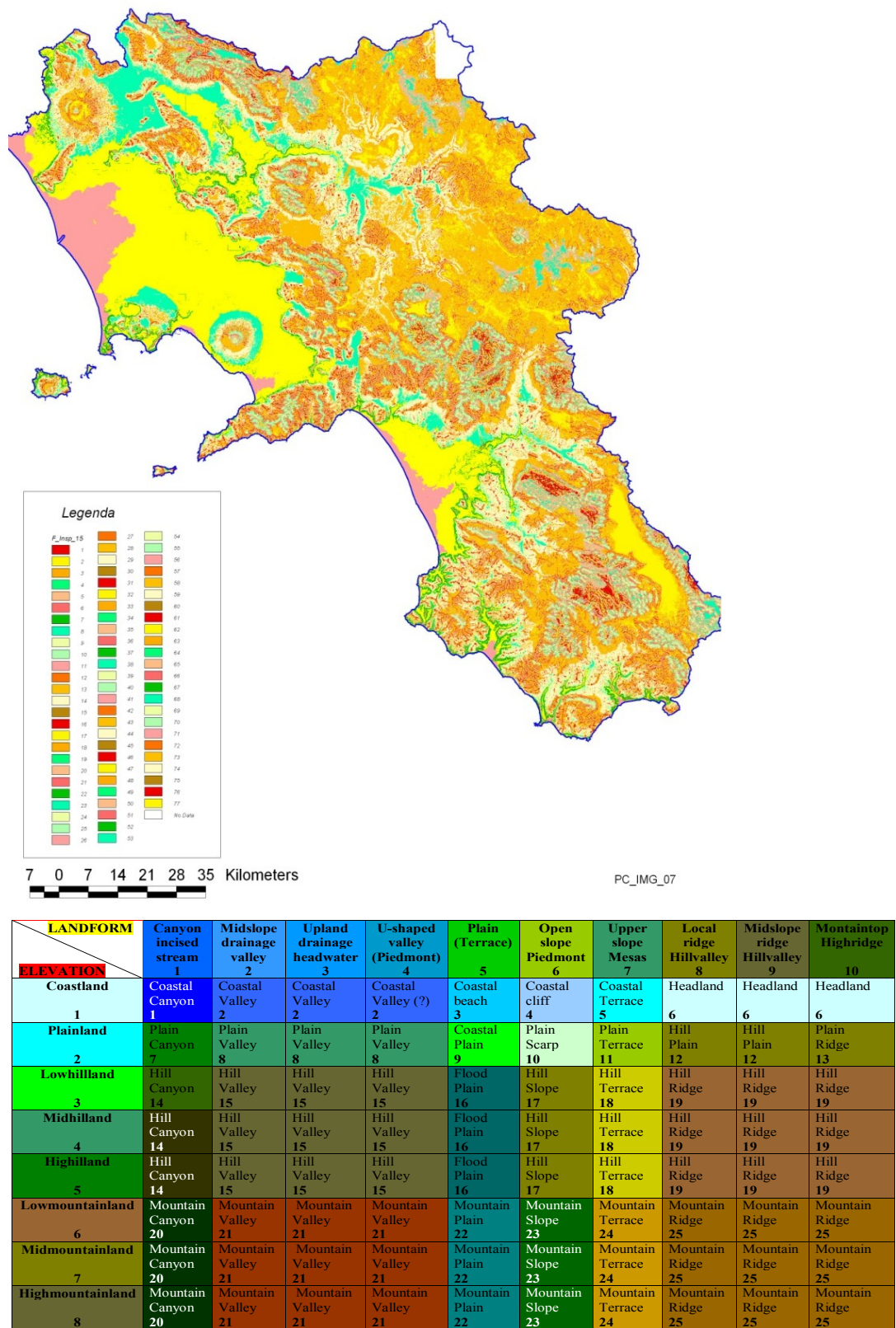


Fig. 4.15: Carta dei Sistemi Morfologici e relativa tabella.

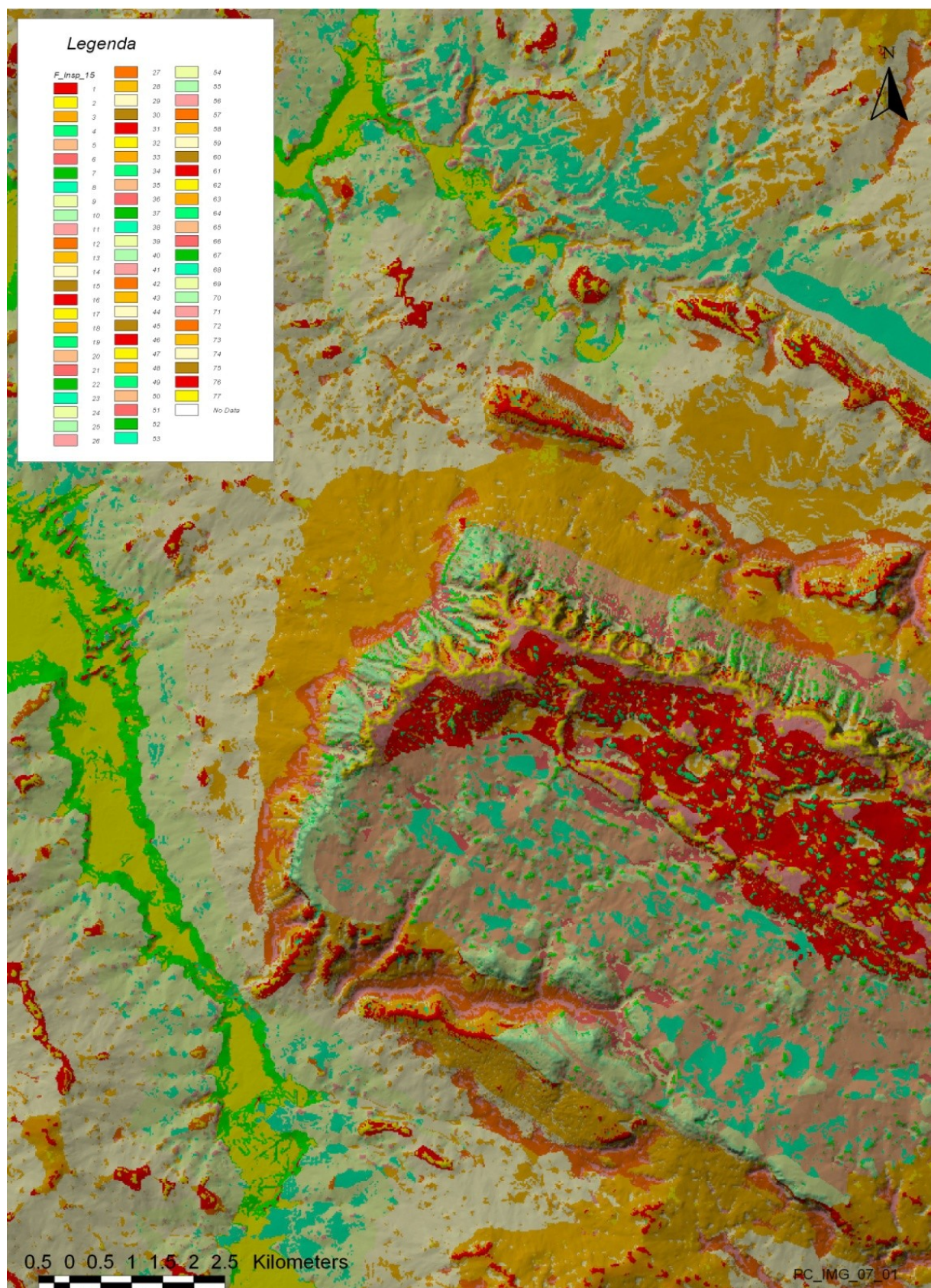


Fig. 4.16: Stralcio della Carta dei Sistemi Morfologici del settore territoriale degli “Alburni”

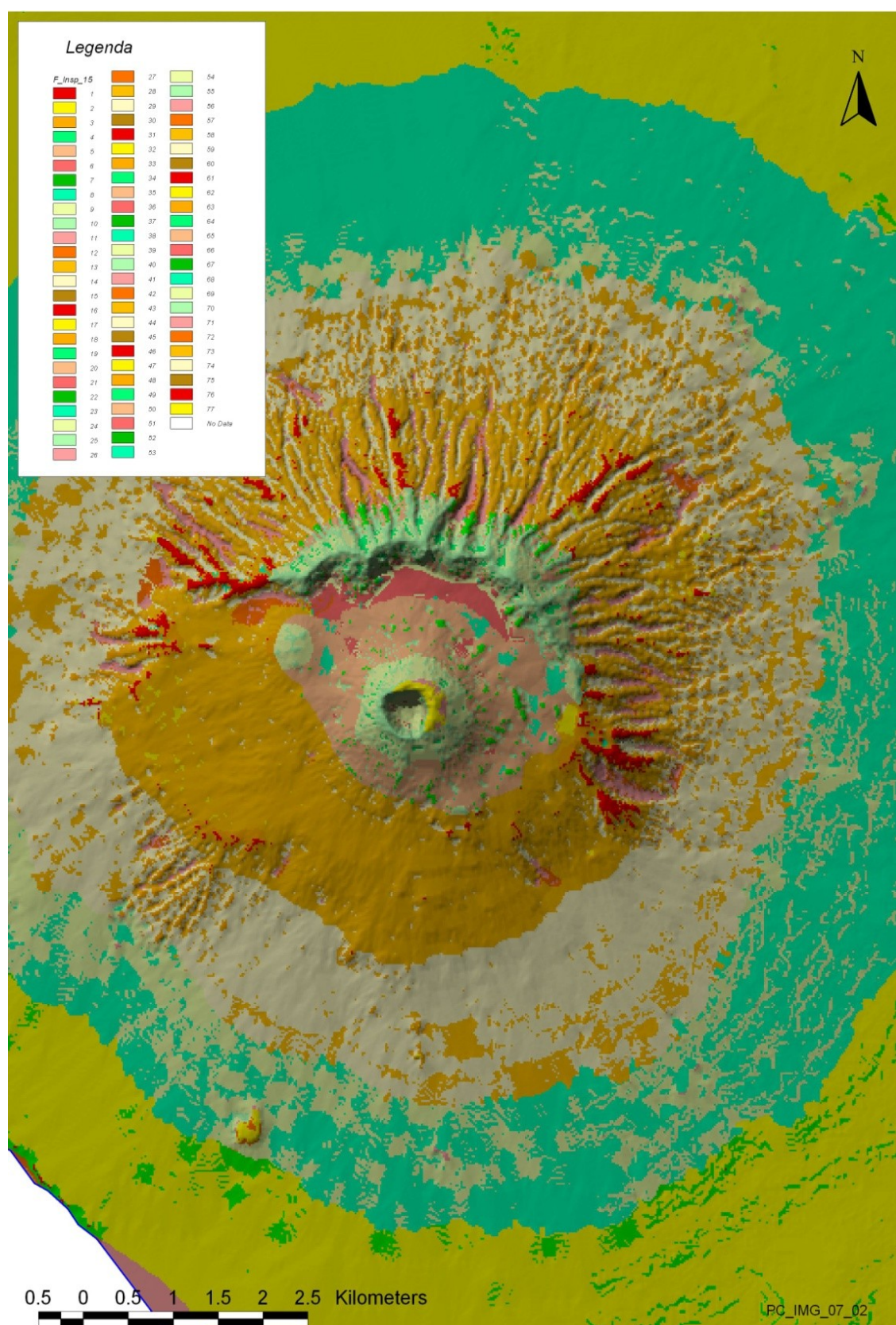
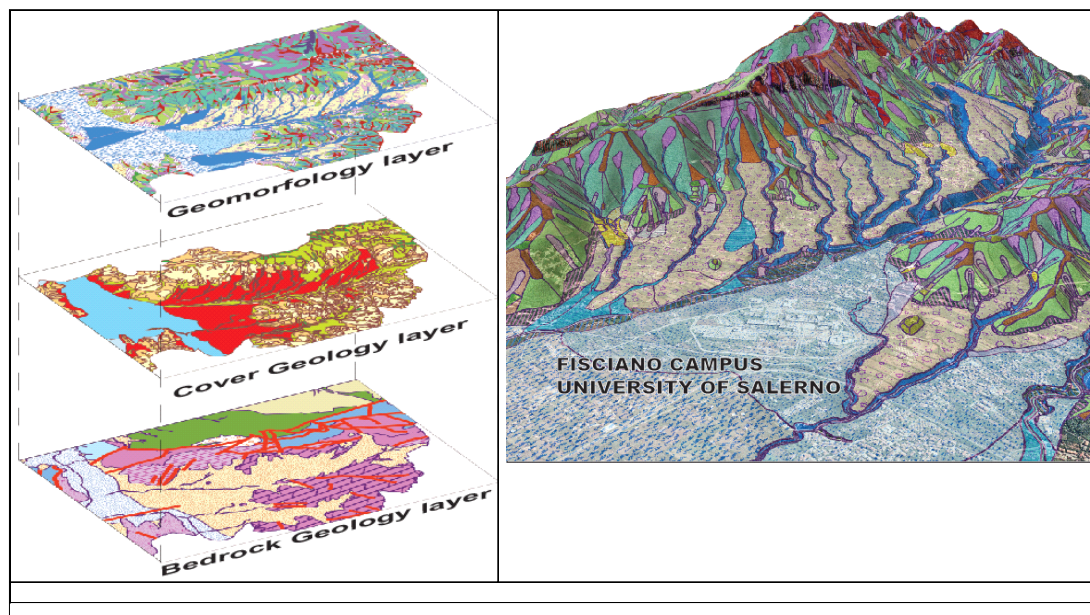


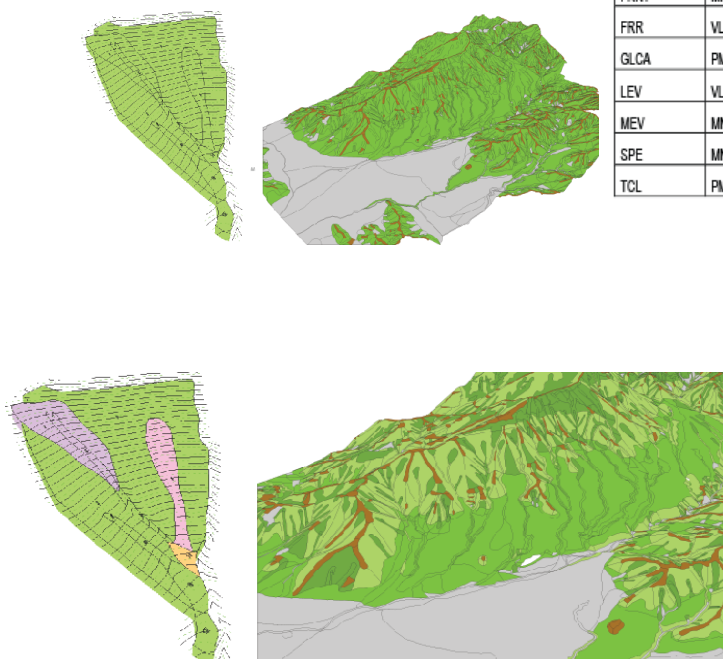
Fig. 4.17: Stralcio della Carta dei Sistemi Morfologici del settore territoriale "Somma-Vesuvio".

Il Modello Informativo di Riferimento

Le informazioni monotematiche sono state integrate utilizzando il Modello Informativo gerarchico multiscalare dell'Università di Salerno, esposto in Dramis et al., (2010, *in press*) e schematicamente mostrato sulle Figg. 4.18a, b, c e d.



COD_GMRF	UNIT	UNIT_SIST	SIST	COD_GMRF	UNIT	UNIT_SIST	SIST
COAA	PMT	PMT-HSP	HSP	VCL	MNT	MNT-HSP	HSP
COAQ	PMT	PMT-HSP	HSP	VFCS	MNT	MNT-HSP	HSP
FEV	MNT	MNT-HSP	HSP	VFDM	VLL	VLL-HSP	HSP
FRNC	MNT	MNT-HSP	HSP	VLU	VLL	VLL-HSP	HSP
FRNN	MNT	MNT-HSP	HSP	VLV	VLL	VLL-HSP	HSP
FRNT	MNT	MNT-HSP	HSP	VSCF	MNT	MNT-HSP	HSP
FRR	VLL	VLL-HSP	HSP	ZOB	MNT	MNT-HSP	HSP
GLCA	PMT	PMT-HSP	HSP	CRM	MNT	MNT-SMT	SMT
LEV	VLL	VLL-HSP	HSP	CRST	MNT	MNT-SMT	SMT
MEV	MNT	MNT-HSP	HSP	RIM	MNT	MNT-SMT	SMT
SPE	MNT	MNT-HSP	HSP	RIS	MNT	MNT-SMT	SMT
TCL	PMT	PMT-HSP	HSP	SLL	MNT	MNT-SMT	SMT



COD_GMRF	UNIT	UNIT_SIST	SIST	COD_GMRF	UNIT	UNIT_SIST	SIST
FEV	MNT	MNT-HSP	HSP	ALVS	PMT	PMT-HSP	HSP
FRNC	MNT	MNT-HSP	HSP	CAQ	PMT	PMT-HSP	HSP
FRNN	MNT	MNT-HSP	HSP	CCL	PMT	PMT-HSP	HSP
FRNT	MNT	MNT-HSP	HSP	CDAI	PMT	PMT-HSP	HSP
MEV	MNT	MNT-HSP	HSP	FFL	PMT	PMT-HSP	HSP
SPE	MNT	MNT-HSP	HSP	FS	PMT	PMT-HSP	HSP
VCL	MNT	MNT-HSP	HSP	TFA	PMT	PMT-HSP	HSP
VFCS	MNT	MNT-HSP	HSP	COAA	PMT	PMT-HSP	HSP
VSCF	MNT	MNT-HSP	HSP	COAQ	PMT	PMT-HSP	HSP
ZOB	MNT	MNT-HSP	HSP	GLCA	PMT	PMT-HSP	HSP
CRM	MNT	MNT-SMT	SMT	RLV	PMT	PMT-HSP	HSP
CRST	MNT	MNT-SMT	SMT	TCL	PMT	PMT-HSP	HSP
RIM	MNT	MNT-SMT	SMT	FRR	VLL	VLL-HSP	HSP
RIS	MNT	MNT-SMT	SMT	LEV	VLL	VLL-HSP	HSP
SLL	MNT	MNT-SMT	SMT	VFDM	VLL	VLL-HSP	HSP
PLN	PLN	PLN	PLN	VLU	VLL	VLL-HSP	HSP
				VLV	VLL	VLL-HSP	HSP

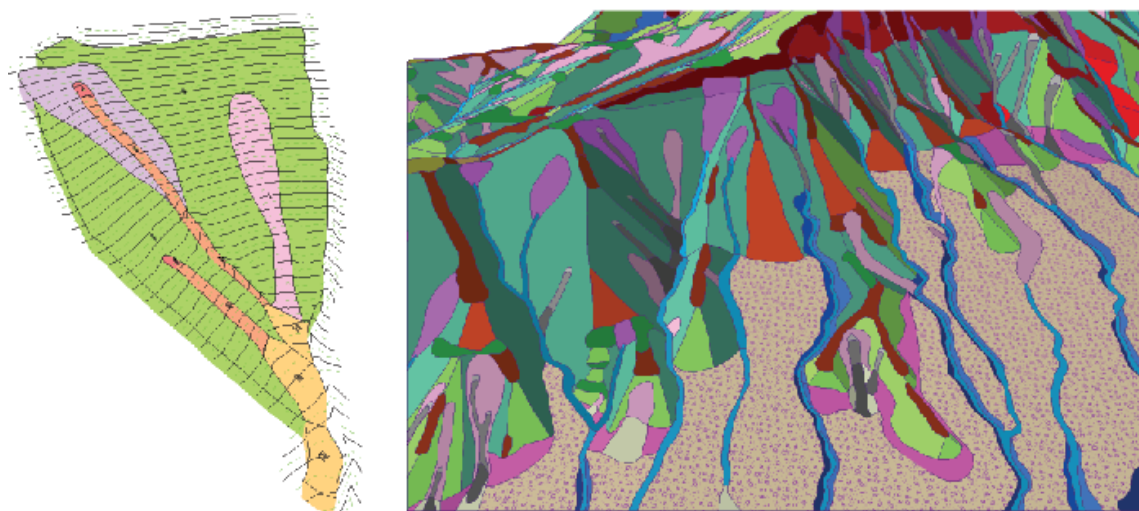


Fig. 4.18: Schema del sistema informatico utilizzato (Dramis et al., 2010, in press).a. Livelli informativi; b. Livello informativo alla scala 1:50.000; Livello informativo alla scala 1:25.000; Livello informativo alla scala 1:5.000

4.2.5 Carta lito-morfo-climatica

Utilizzando i criteri sopra esposti, sono state prodotte delle cartografie di sintesi ritenute utili ad affrontare le problematiche poste, come ad esempio la carta dei Sistemi e Sottosistemi di Paesaggio della Campania, mostrata in Fig. 4.19.

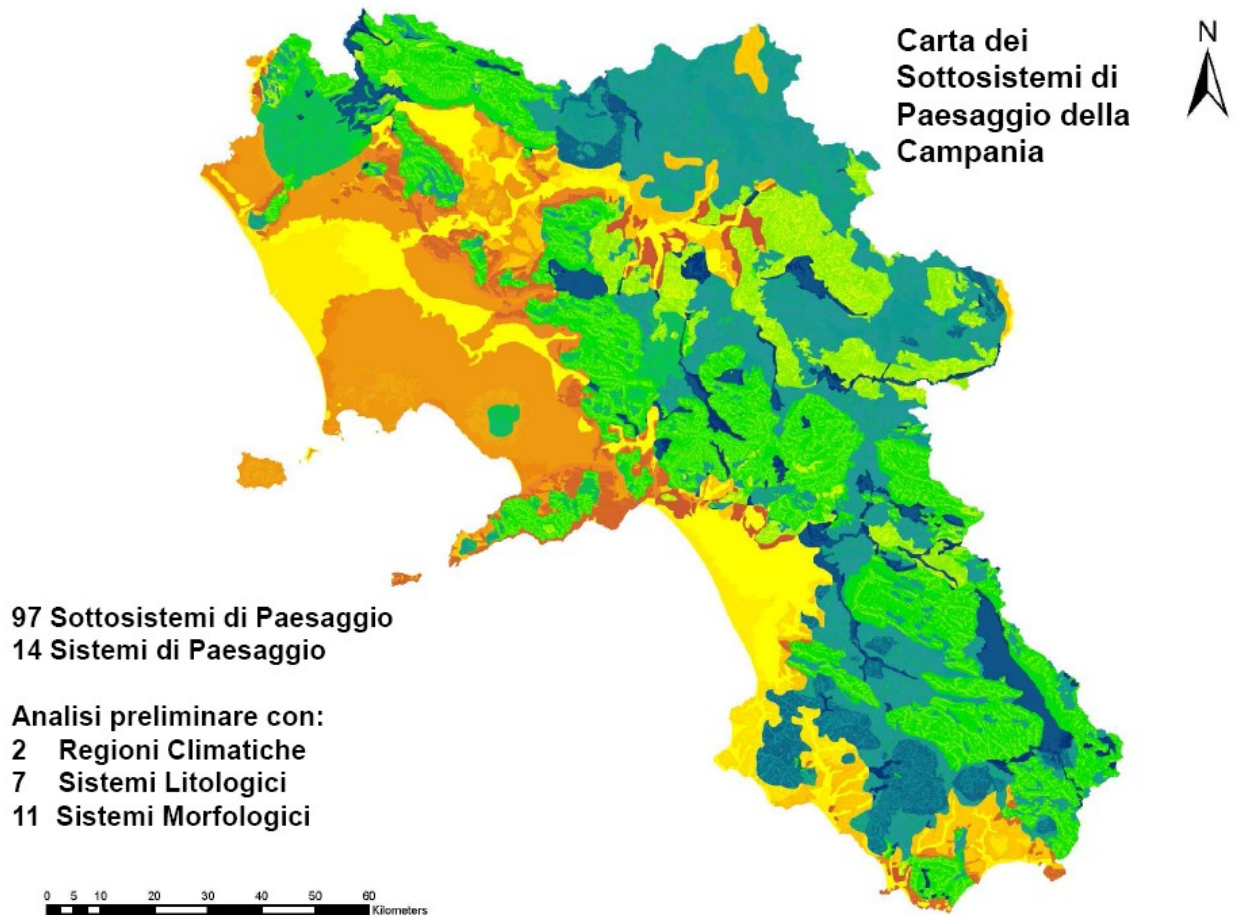


Fig. 4.19: Carta Lito-morfo-climatica

4.2.4. Gli ambiti morfologici significativi: la codifica Pfafstetter dei bacini idrografici

Nell'ambito della ricerca sulle frane, la ricostruzione della storia evolutiva passata, collegata alla definizione dei processi attuali, consente di pervenire, all'impostazione delle più probabili tendenze evolutive future. Questi aspetti risultano determinanti per l'ottimizzata definizione sia della occorrenza sia della ricorrenza dei fenomeni franosi, in combinazione con altre metodologie complementari (analisi multitemporale, dati storici, analisi deterministiche e/o probabilistiche, ecc.).

Le fasi di preparazione del versante, le modalità di alimentazione e di innesco e gli stadi di evoluzione dell'evento-frana post-fase parossistica dipendono da una molteplicità di elementi quali i fattori predisponenti, le cause innescanti e gli interventi antropici. Il loro ruolo si estrinseca in *feedback* positivi e/o negativi estremamente complessi da modellare globalmente in senso deterministico e probabilistico, anche perché si esplicano su scale spaziali e temporali molto diversificate tra loro.

Pertanto il sistema geomorfico “versante” (“*hillslope*” per gli autori anglosassoni) ed, a maggior ragione, il sistema geomorfico bacino/i, per essere studiati con metodologie analitiche hanno bisogno di una disaggregazione in termini di sub-sistemi geomorfici più semplici, sempre mantenendo la coerenza di comportamento complessivo derivante dalle interrelazioni complesse fra i vari componenti. Il bacino idrografico o nel caso in cui non si tratti di un bacino chiuso ma di un interbacino, rappresenta quindi l'entità geomorfologica fondamentale o più comunemente detta morfotipo, cioè la “forma prototipale” o “*landform*”, cioè entità geospaziale differenziabile per aspetti morfometrici e morfogenetici ed “espressione spaziale di processi geomorfici dominanti che agiscono nell'arco di stadi evolutivi definiti sulla struttura geologica locale sotto l'azione del clima e delle sue variazioni” (Guida et alii, 2007).

Lo stato attuale delle ricerche nel campo dei bacini idrografici risulta molto differenziato a livello internazionale e nazionale. A livello mondiale è riservata grande importanza alla tematica, soprattutto da parte delle istituzioni di ricerca (Dietrich&Dunne,1993) e quelle di salvaguardia ambientale, come ad es. il programma “*Headwaters Assessment and Management*” della Commissione Internazionale per le Headwaters (UN University, 2003) ed, in particolare, le attività dell'*International Association for Headwater Control* (IAH).

A livello nazionale, nonostante la emanazione della "*Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council* " che stabilisce il quadro comunitario di gestione integrato e governo delle acque, denominato "*EU Water Framework Directive*" (WFD), analoga attenzione è riservata quasi esclusivamente alle sistemazioni idraulico-forestali dei corsi d'acqua montani, con particolare riferimento a quelli in ambiente alpino ed alla definizione dello stato di qualità e dello stato ambientale dei corsi d'acqua di pianura (Dlgs 152/99 e succ. mod.int.). La problematica relativa ai ventagli di testata (*Headwater*), invece, riveste una notevole importanza territoriale e valenza ambientale, comprendendo le tematiche inerenti le modalità di formazione del deflusso superficiale (Tsukamoto, 1963; Hewlett & Hibbert, 1967; Kirkby & Chorley, 1967) e, quindi, della valutazione delle piene, la produzione ed il trasporto dei sedimenti, il potenziale ecologico ed, infine, il ruolo svolto nell'innescare delle frane superficiali (soil slips-debris flows), soprattutto nei *landscape* dei rilievi carbonatici campani ricoperti da coperture piroclastiche sciolte.

La codifica Pfafstetter

Una tracimazione di una diga da frana, più o meno catastrofica, influenza in maniera determinante la portata del corso d'acqua relativo a valle dello sbarramento. Pertanto, esiste una relazione topologica tra il settore idraulico oggetto dell'evento ed i tratti seguenti, fino allo sbocco a mare. Ne consegue la necessità di comprendere le relazioni tra il sottobacino di interesse ed il resto dell'impluvio. Queste relazioni topologiche possono essere delineate dalla classificazione Pfafstetter (Pfafstetter System) per i bacini idrografici, sviluppata da Otto Pfafstetter nel 1989. La classificazione si basa su una codifica numerica secondo la quale è possibile individuare il bacino immediatamente a valle a quello d'interesse in un database semplicemente assegnando degli identificativi (IDs) (Pfafstetter, 1989; Verdin & Verdin, 1999). Il sistema codificato è gerarchico ed i bacini sono delineati in base alle giunzioni con la rete fluviale.

Il primo livello Pfafstetter corrisponde ai bacini a scala continentale (regionale), mentre i livelli più alti (2,3,4 ecc.) si possono raggiungere via via che si dettaglia la scala di analisi, a causa della maggiore definizione che si acquisisce con la cartografia di dettaglio, che permette di distinguere altri impluvi all'interno dei bacini perimetrati. Ad ogni bacino è assegnato un *Pfafstetter Code* che dipende dalla sua collocazione all'interno dell'intero sistema fluviale.

Secondo questa codifica, i bacini idrografici sono suddivisibili in tre tipi: Bacini (*basins*), interbacini (*interbasins*) e bacini chiusi (*internal basins*). Con il termine bacino si intende un'area non riceve apporti dai settori adiacenti. Un bacino contiene un ventaglio di

testata del proprio impluvio (*headwater*). L'interbacino è invece l'area che riceve apporti idrici da almeno un settore contiguo, mentre il bacino interno è rappresentato da un'area chiusa, che non contribuisce, per via superficiale, ad alimentare altri bacini (laghi, conche endoreiche). L'assegnazione dei codici avviene partendo dal recapito dal mare, per quanto riguarda i bacini a scala continentale, oppure dalla confluenza, "chiusura" del bacino. Delineato il Bacino, si individuano i 4 affluenti del corso d'acqua di fondovalle con l'area di drenaggio maggiore. E è assegnato il codice pari, da "2" a "8" a partendo da quello che la quota di confluenza più bassa. Gli "Interbasins", cioè le aree di drenaggio comprese tra i 4 bacini principali assumono codici dispari da "1" a "7", sempre risalendo il corso d'acqua principale, mentre la testata del bacino assume il codice "9".

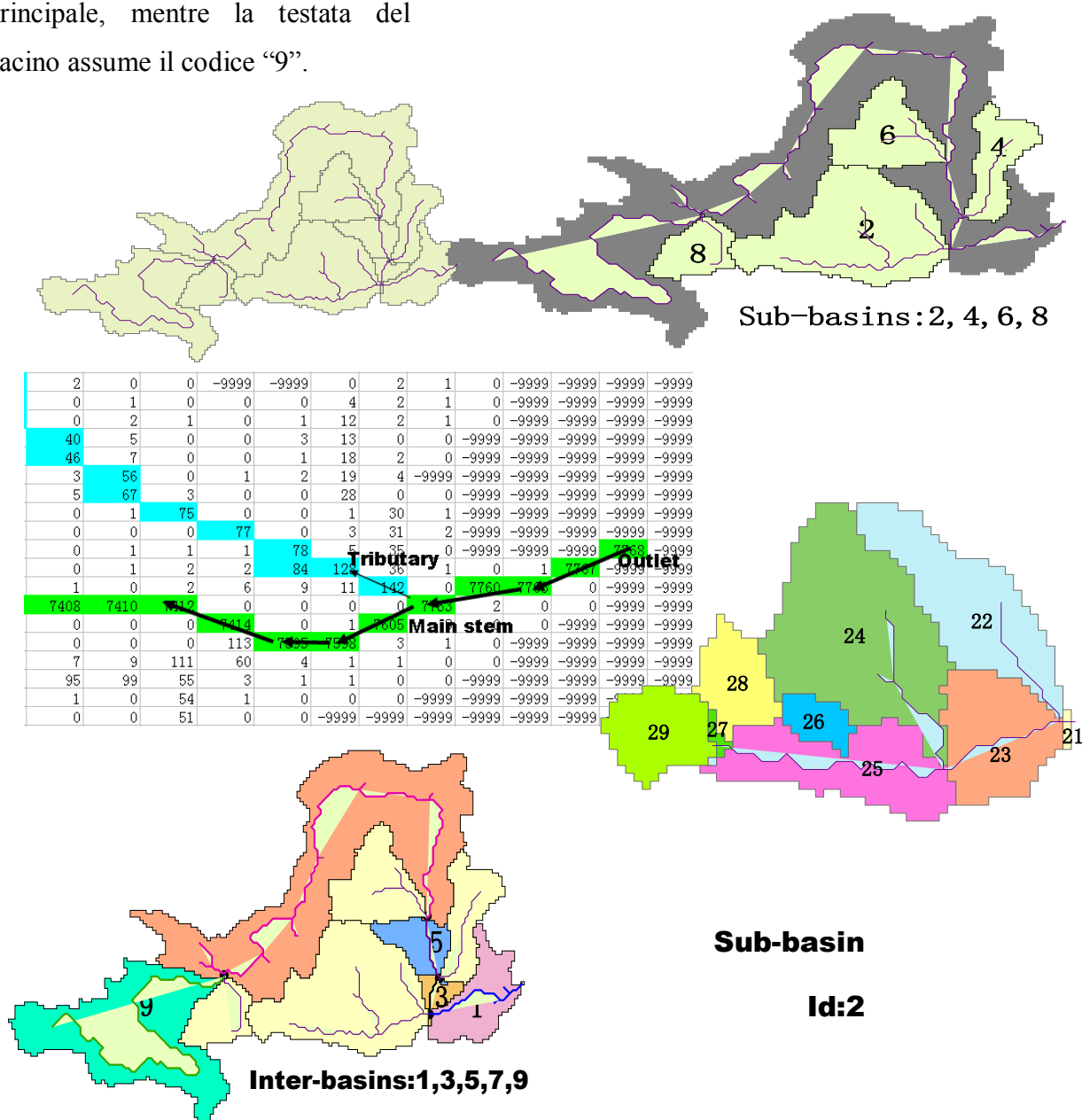


Fig. 4.20: Schema di classificazione dei bacini secondo Pfafstetter.

Con questo tipo di codifica, basata sulla topologia, è possibile determinare quali bacini sono situati a monte ed a valle di un dato bacino d'interesse, basandosi solo su dati tabellari. Inoltre è possibile, mediante una semplice interrogazione dl database, determinare quale sia l'area totale di drenaggio a monte, e correlare il volume idrico di pioggia alle sezioni di chiusura a valle (Fig. 4.20).

4.2.5.Codifica dei Bacini Idrografici della Regione Campania e settori idrografici.

Il Settore Protezione Civile della Regione Campania ha suddiviso il territorio di competenza in 162 settori idrografici. La suddivisione è stata effettuata sia sulla base dei dati topografici (bacini chiusi), sia tenendo conto delle varie stazioni di misura (idrometrografi, pluviometri). In questi settori è compreso l'intero bacino del Volturno, ma non è compreso il Liri – Garigliano, in quanto la banca dati tiene conto solo dei fiumi afferenti al territorio regionale campano. L'applicazione della codifica ha permesso di distinguere un primo livello, definito “continentale” comprensivo anche dei bacini dei corsi d'acqua afferenti alla Puglia, dei quali non si è completata la codifica per mancanza di dati di base, distinguendo 37 tra bacini e settori costieri (Fig. 4.21 e relativa tabella).

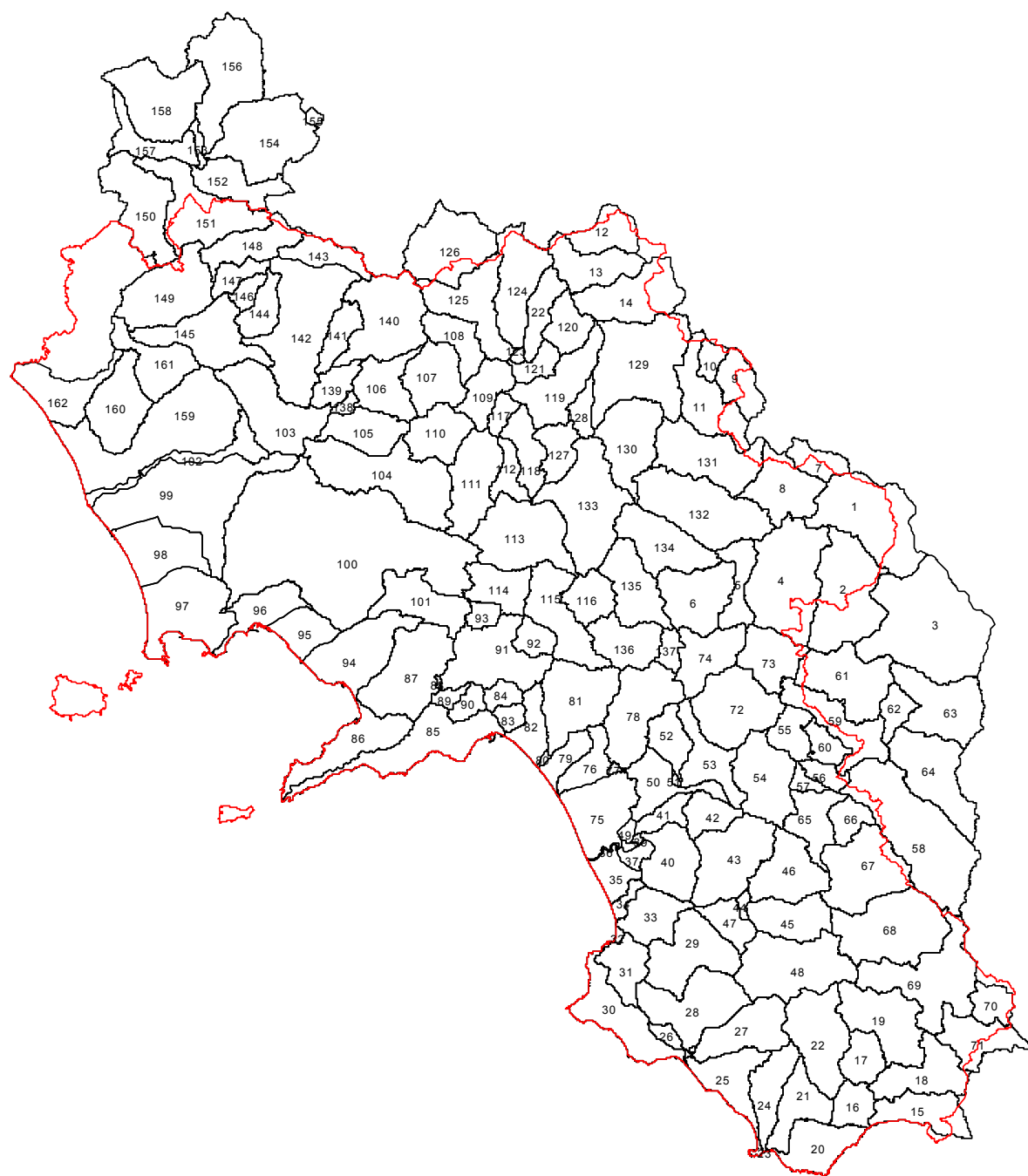


Fig.4.21. Carta dei Settori idrografici della Campania (Fonte: Settore Protezione Civile)

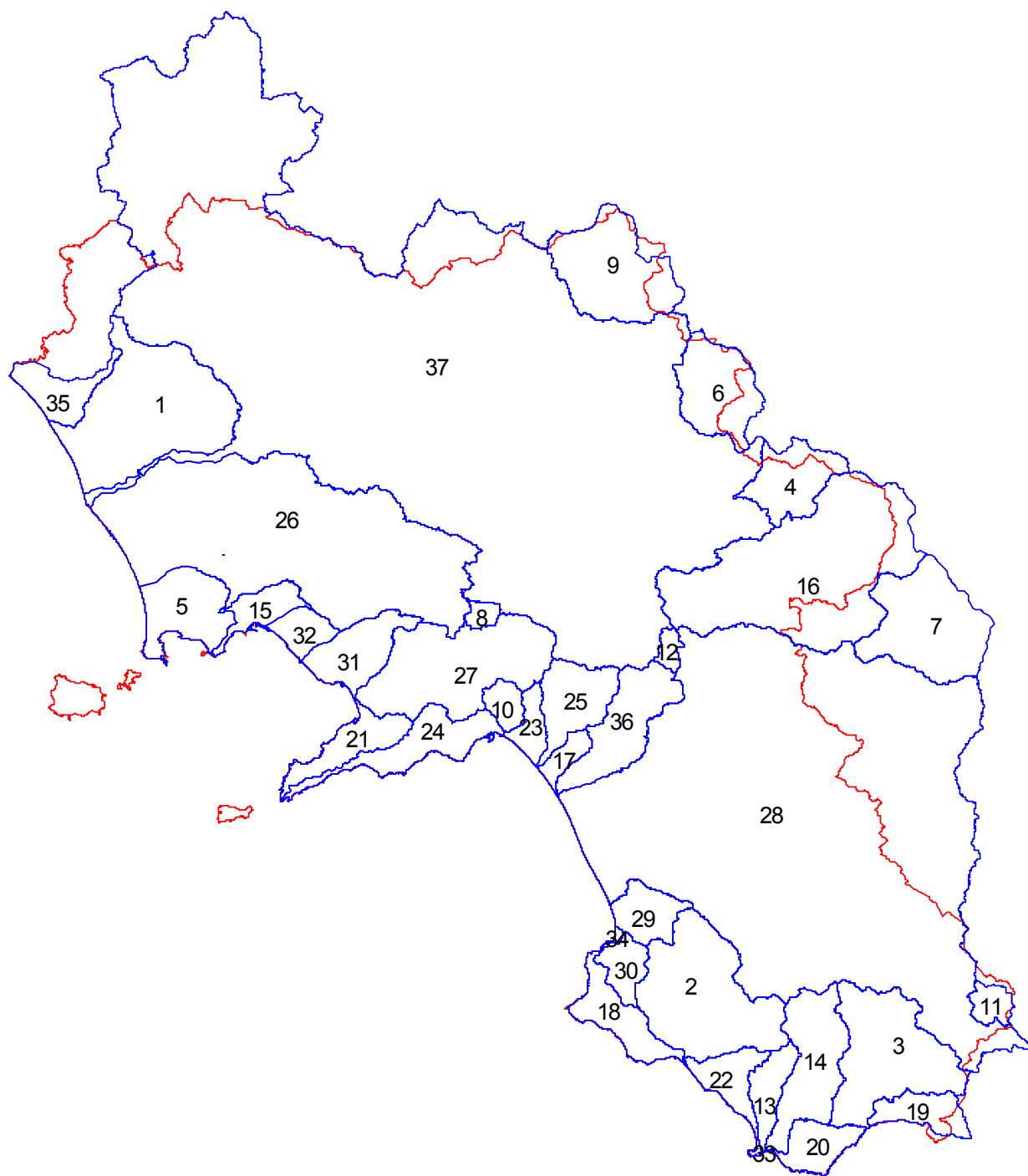


Fig.4.22. Codifica Pfafstetter di primo livello

PAFSTETTER_code	MAIN_BASIN	AREA (m)	PERIMETER (m)
1	Agnena-Savone	506221385,717	138426,599
2	Alento	408910542,506	141638,792
3	Bussento	342988871,563	143856,454
4	Calaggio	152664225,797	95061,500
5	Campi Flegrei	170123915,445	78213,474
6	Cervaro	196147200,000	91240,000
7	Fiumara d'Atella	313235192,615	104183,105
8	Forino	22251200,000	28000,000
9	Fortore	288236934,124	100746,954
10	Irno	44976179,045	39814,665
11	Lago di Spigno - Magorno - Cessuta	42325630,909	38379,193
12	Lago Laceno	23374649,969	30253,747
13	Lambro	76827758,408	64234,680
14	Mingardo	223363706,499	117440,036
15	Napoli e Sebeto	72881938,258	72762,541
16	Ofanto	790657569,123	208137,038
17	Bacini compresi tra la foce Picentino e Tusciano	39833366,411	42510,302
18	Bacini compresi tra Agropoli e la foce dell'Alento	123687888,144	99804,193
19	Bacini compresi tra la foce del Bussento e Torre di Mezzanotte	85734738,094	69185,098
20	Bacini compresi tra foce Mingardo e foce Bussento	88644344,891	65933,352
21	Bacini compresi tra la foce del Sarno e Punta Campanella	110937624,691	98157,590
22	Bacini compresi tra foce Alento e Lambro	92165712,875	85814,379
23	Bacini compresi tra foce Irno e la foce del Picentino	52610611,077	49556,377
24	Bacini compresi tra Punta Campanella e foce Irno	153423643,951	139751,367
25	Picentino	145384944,076	79284,208
26	Regi Lagni	1231991561,313	256979,955
27	Sarno	395912318,358	146524,771
28	Sele	3357140591,352	452716,501
29	Solofrone	93650917,058	58442,781
30	Testene e Torrenti Minori dalla foce del Solofrone ad Agropoli	66015055,391	54149,568
31	Torrenti vesuviani da T. del Greco a foce Sarno	140057721,499	74321,771
32	Torrenti vesuviani da foce Sebeto a Torre del Greco	61764090,662	39034,107
33	Bacini Tra Lambro e Mingardo	154107,526	2427,218
34	Bacini Tra Solofrone e Testene	3141271,695	10188,587
35	Tremoletto, Bonifica Pantano di Sessa e Torrenti minori tra foce Garigliano e Torre S.Limato	97324404,725	70319,794
36	Tusciano	200010955,355	107880,255
37	Volturno	5582720383,679	810638,595

Fig.4.22: Tabella relativa alla codifica Pfafstetter primo livello per la Regione Campania

Per alcune aree la codifica ha raggiunto il quarto livello, laddove l'approfondimento dello studio a scala di dettaglio lo richiedeva come, ad esempio per il fiume Tammaro:

II livello=Volturno

III livello: Calore Irpino

IV livello: Tammaro



Fig.4.23. Codifica Pfafstetter di secondo livello: Il bacino del fiume Volturno



Fig.4.24. Codifica Pfafstetter di terzo livello: Il bacino del fiume Volturno

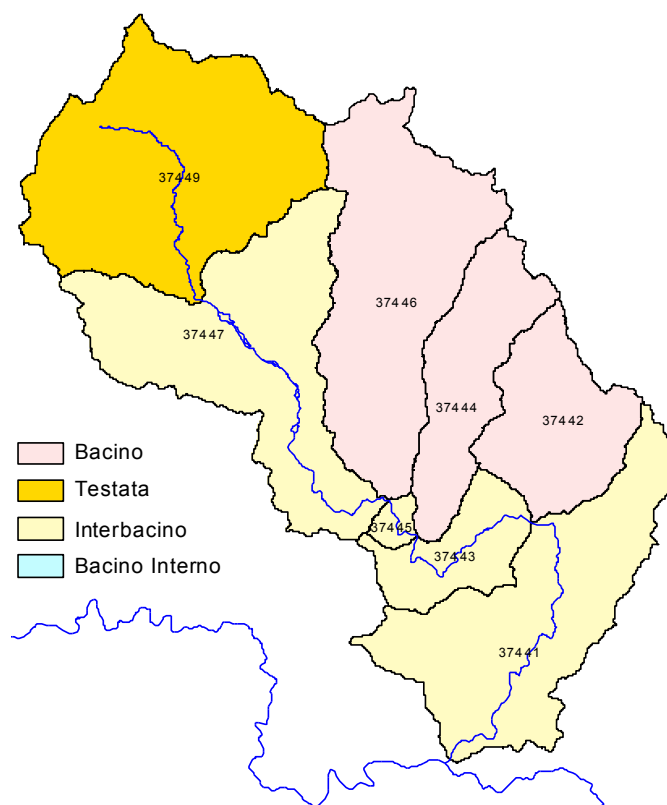


Fig.4.25. Codifica Pfafstetter di quarto livello: Il bacino del fiume Tammaro

4.3. Cartografia e banca dati delle frane di sbarramento fluviale

4.3.1. Metodologia di rilevamento delle frane che inducono sbarramenti fluviali a scala di dettaglio

L'analisi storica effettuata non ha dato riscontri positivi per quanto riguarda eventuali sbarramenti fluviali indotti da frane. Pertanto, partendo dalla banca dati disponibile, si è proceduto all'individuazione di parametri geomorfologici significativi degli eventi passati, partendo dal presupposto che tali fenomenologie modificano il paesaggio in maniera indelebile a medio - lungo termine, il quale memorizza le anomalie e le restituisce in termini di modifica del paesaggio.

Inizialmente, l'insieme dei fenomeni franosi è stato incrociato con i dati relativi alla litologia ed alla rete idrografica allo scopo di rilevare le deviazioni del fondovalle ad opera dei cumuli di frana. Una prima operazione di filtraggio ha permesso di escludere i litotipi vulcanici, lavici ed i calcari di piattaforma, concentrando l'attenzione sulle litologie a prevalente comportamento duttile (Guida D. et al., 1988a,b) che caratterizzano i depositi in facies di flysch delle zone interne, i quali sono maggiormente interessati dalle Landslide Dams (Ermini & Casagli, 2002, 2003).

I sistemi franosi sono stati valutati in base ai seguenti indicatori geomorfologici:

1. **deviazione fluviale da parte** dell'accumulo;
2. Presenza a monte dell'accumulo, in adiacenza, di **una superficie o lembi di superficie sub – pianeggiante**, non correlabile con altri terrazzamenti di origine fluviali (terrazzi morfologici) e corrispondente ad un interrimento dell'originario lago di sbarramento (Casagli ed Ermini, 1998);
3. Presenza a valle dell'accumulo, in adiacenza, di **conoidi fluviali di fondovalle**, anche anastomizzate o sovrapposte, disposte con l'asse maggiore in parallelo con la direzione di flusso del corso d'acqua;
4. Presenza di **aree di instabilità sul versante opposto al cumulo di frana**, indotte dallo scalzamento al piede indotto dalla deviazione fluviale.
5. **Frane di notevole magnitudo** (area ed estensione), in genere chilometrica, **il cui cumulo è posizionato lungo il versante** la cui rimobilizzazione, in seguito ad eventi pluviometrici estremi o terremoti, potrebbe causare l'ostruzione dell'alveo.

L'applicazione di tale metodologia ha permesso di rilevare e cartografare 40 casi che presentano almeno due dei primi quattro indicatori geomorfologici descritti, in catalogati con Pompeo Coico – Il Multirischio Idrogeologico in Regione Campania

un identificativo progressivo casuale (ID). Per ogni caso è stato delimitato il bacino idrografico sotteso al sistema franoso (Fig.4.22).

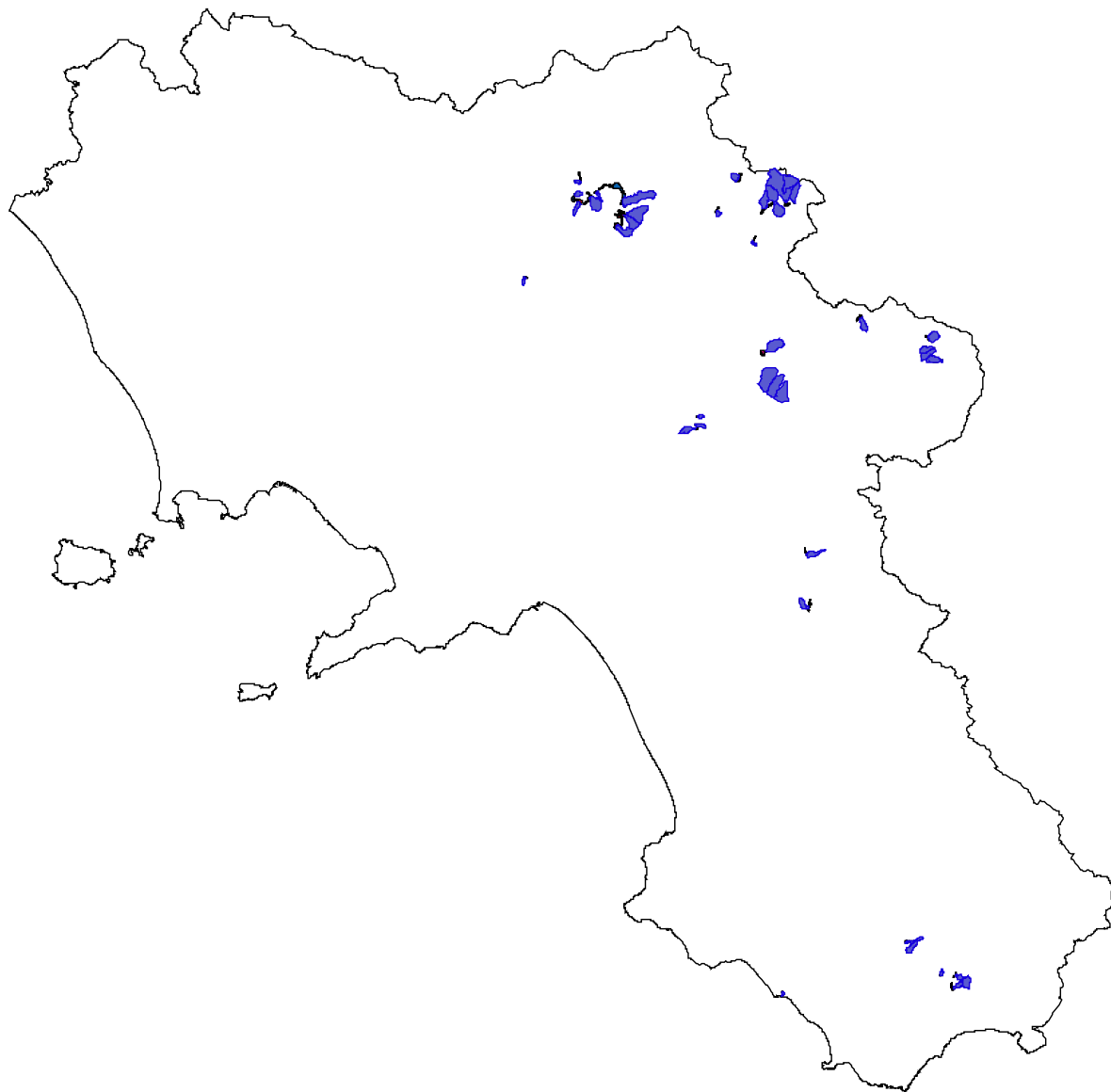


Fig.4.22. Ubicazione degli sbarramenti fluviali individuati

Main Basin frame					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	BUSSENTO	1	2,5	2,5	2,5
	Calaggio	1	2,5	2,5	5,0
	calore	3	7,5	7,5	12,5
	Cervaro	7	17,5	17,5	30,0
	Fiumicello	1	2,5	2,5	32,5
	FREDANE	1	2,5	2,5	35,0
	Mingardo	2	5,0	5,0	40,0
	Ofanto	4	10,0	10,0	50,0
	SCIARAPOTAMO	3	7,5	7,5	57,5
	Sele	2	5,0	5,0	62,5
	Tammaro	9	22,5	22,5	85,0
	Ufita	6	15,0	15,0	100,0
	Total	40	100,0	100,0	

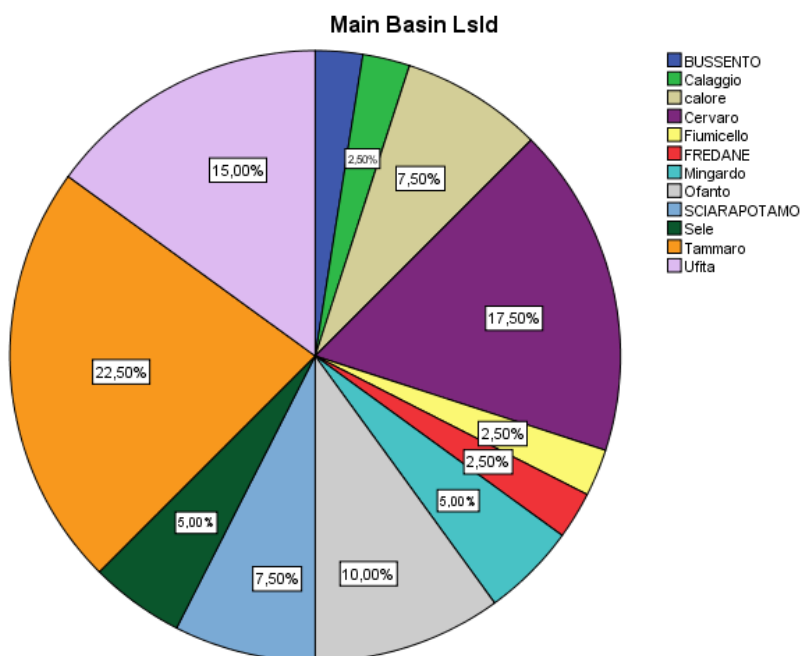


Fig. 4.23. inquadramento degli sbarramenti rispetto ai bacini fluviali

I casi rilevati ricadono maggiormente nei bacini dei fiumi Tammaro(9), Cervaro(7) ed Ufita (6).

LSDDMSYS	LSDDMTYPE	LSDDMCLAS	IFFIMAXEL	IFFIMAX_X	IFFIMAX_Y	IFFIMINEL	IFFIMIN_X	IFFIMIN_Y	LSDDMACT	RANGE
1	con	2con	444,5635	2522990,2972	453018 7,3497	396,0000	2523341,61 00	4530245,6 300	Q	48,5635
2	Lsld	6	237,0000	2537061,6100	444202 5,6300	22,2151	2536509,36 33	4441715,4 660	A	214,7849
3	Lsld	4a	876,1567	2537004,7745	456949 2,0994	499,4466	2537043,74 50	4566714,2 003	I	376,7101
4	Lsld	4	775,4667	2535094,4377	456761 7,7654	449,0000	2535661,61 00	4565505,6 300	Q	326,4667
5	Lsld	1	427,2401	2504366,6763	456867 0,6963	311,3297	2505148,95 57	4568219,5 685	Q	115,9104
6	Lsld	2	501,9422	2557006,4656	445002 1,0758	275,0000	2555874,60 17	4450005,6 300	Q	226,9422
7	Lsld	10	362,1424	2565112,4046	444421 4,8354	125,0000	2565566,56 18	4443160,6 782	Q	237,1424
8	Lsld	2	237,8503	2564413,0111	444479 4,2289	84,2887	2563613,05 37	4444925,6 870	Q	153,5616
9	Lsld	3	230,6568	2561589,8938	444573 3,9138	95,7520	2561481,61 00	4444843,1 503	A	134,9048
10	Lsld	1	666,8992	2524662,4736	453024 6,2058	395,0759	2523123,12 74	4530605,6 300	Q	271,8233
11	Lsld	2	438,0084	2542261,6518	451058 5,6718	189,0966	2540549,31 12	4510190,5 266	I	248,9118
12	Lsld	6	427,8758	2526771,1959	456386 6,9286	349,2393	2526366,39 53	4563790,4 153	Q	78,6365
13	Mix	2con	450,0000	2537224,7505	456573 0,5087	424,0000	2537601,24 43	4565065,8 738	I	26,0000
14	Lsld	10	840,2689	2538792,7769	456758 0,5207	420,0000	2538642,20 66	4565202,0 822	Q	420,2689
15	Lsld	4	734,7023	2536515,0451	456333 2,1949	449,0000	2535589,45 57	4565437,5 914	Q	285,7023
16	Lsld	1	728,0352	2534130,2818	456627 4,3018	474,0000	2534181,61 00	4564585,6 300	Q	254,0352
17	Lsld	2	371,8275	2564747,9550	444411 9,2850	59,0912	2563332,52 24	4442976,5 424	Q	312,7363
18	Lsld	10	584,7542	2557559,9715	444996 3,9915	200,0000	2556281,61 00	4448387,4 309	Q	384,7542
19	con	2con	424,0000	2534221,6100	454216 5,6300	399,0000	2533441,61 00	4542225,6 300	I	25,0000
20	Lsld	2	618,6273	2548920,9884	454586 7,1206	424,0000	2549141,71 12	4547549,4 660	Q	194,6273
21	Lsld	10	752,8186	2558631,6534	454208 4,9565	523,8325	2560047,93 93	4542848,9 801	P	228,9861
22	Lsld	1	431,1570	2508030,0400	456593 4,0600	271,3104	2507648,16 20	4566972,5 259	Q	159,8466
23	Lsld	2	393,0447	2504545,0319	456459 3,4715	292,3957	2505253,69 57	4565105,6 300	Q	100,6490
24	Lsld	10	896,0458	2535321,6100	453513 8,8105	550,0000	2536020,36 57	4537491,3 785	Q	346,0458
25	Lsld	10	899,3205	2536104,8685	453452 9,0275	519,9395	2537315,96 32	4537526,8 410	Q	379,3810
26	Lsld	6	713,9828	2560553,4722	454514 1,5611	499,0000	2559583,12 65	4543967,5 069	Q	214,9828
27	Lsld	10	376,4625	2505151,3597	456669 4,0231	295,0000	2504421,61 00	4566845,6 300	Q	81,4625
28	Lsld	4	504,4590	2507272,0022	456454 8,2461	269,0359	2507037,65 76	4566404,1 928	Q	235,4231
29	Mix	2con	506,8105	2513433,1604	456148 7,4068	194,4218	2511690,04 66	4563202,5 032	I	312,3887
30	Lsld	10	642,1353	2515417,4649	456471 6,3089	224,2109	2512514,92 99	4563832,9 772	Q	417,9244
31	Lsld	10	789,4498	2559304,2603	454063 5,7306	438,4364	2561629,42 81	4540577,8 119	Q	351,0134
32	Lsld	2	663,3961	2528885,5709	456977 3,5519	499,0000	2529549,63 05	4568782,3 137	Q	164,3961
33	Lsld	1	664,4922	2532581,5473	455875 5,5986	570,5216	2532111,17 82	4559369,1 030	Q	93,9706

34	Lsld	2	583,8286	2524309,6915	453195 0,6594	369,0000	2523541,61 00	4531825,6 300	Q	214,8286
35	Lsld	2	225,2605	2496199,8731	455298 5,6300	99,1202	2496559,20 65	4553743,2 265	Q	126,1403
36	Lsld	3	529,7203	2513300,4911	456118 5,6300	171,0000	2510841,61 00	4561645,6 300	Q	358,7203
37	Lsld	2	829,0386	2516638,1141	456622 5,6300	220,4380	2511731,19 64	4565185,6 300	Q	608,6006
38	Lsld	10	850,3054	2558395,5026	454127 9,5226	522,0000	2560341,61 00	4542686,2 483	Q	328,3054
39	Lsld	4	401,5087	2539381,6100	450358 0,7167	120,0000	2540601,61 00	4502025,6 300	Q	281,5087
40	Lsld	10	846,8066	2534152,2548	453615 6,2748	454,7720	2535512,30 94	4539563,5 833	Q	392,0346
ID Sistema fransoso	Tipologia del sistema fransoso	Classif icazion e dello sbarram ento da frana	Elevazio ne in m (sul livello del mare) del punto più alto del sistema fransoso	X (gauss boaga) del punto più alto del sistema fransoso	Y (gauss boaga) del punto più alto del sistema fransoso	Elevazio ne in m (sul livello del mare) del punto più basso del sistema fransoso	X (gauss boaga) del punto più basso del sistema fransoso	Y (gauss boaga) del punto più basso del sistema fransoso		
	Lsld frana	=	(da Costa & Schust er, 1988 modifi cata)							
	Con=									
	conoide									
	Mix= miste									

LSLDDMACT : Stato di attività del sistema: A= Attivo; Q= quiescente; I= Inattivo; P= in evoluzione

Fig.4.23.1. tabella riassuntiva generale degli sbarramenti da frana individuati

LSLDDMSYS	LSLDSYST_S	LSLDSYST_S	LSLDSYST_A	LSLDSYST_P	LSLDSYST_L	LSLDSYST_T	
1	7,9	13,9	46328,949	958,235	387,00	0	
2	22,6	42,9	210796,234	2148,739	478,75	0	
3	8,3	14,6	1177013,007	13173,731	3138,06	0	
4	11,0	19,6	564966,672	11616,994	2365,07	0	
5	6,7	11,8	218156,979	2419,901	951,81	0	
6	11,6	20,6	267459,180	2928,028	1106,78	0	
7	13,1	23,4	509421,060	7755,013	1052,97	0	
8	11,3	20,1	163115,325	3134,561	882,31	0	
9	10,1	17,9	189580,129	2557,364	946,73	0	
10	10,0	17,9	264584,453	4008,197	1737,75	0	
11	8,7	15,4	466287,266	5307,791	1801,44	0	
12	8,8	15,6	141134,474	1437,837	438,75	0	
13	2,8	4,9	230617,550	2560,123	1122,69	0	
14	11,1	19,9	479549,654	9886,543	2799,70	0	
15	9,8	17,4	1117317,126	15488,388	2392,50	0	
16	8,8	15,6	757433,030	5715,906	1859,16	0	
17	11,8	21,2	457463,341	6746,065	1951,31	0	
18	11,2	20,0	779577,366	5865,313	2082,45	0	
19	2,1	3,7	381960,134	2714,732	851,90	0	
20	7,6	13,3	522035,030	6109,282	1636,96	0	
21	10,3	18,1	359111,595	7648,542	1651,73	0	
22	7,9	13,9	179224,092	2851,770	1168,01	0	
23	6,7	11,7	369191,939	2626,030	1012,13	0	
24	8,5	15,0	1146990,151	8407,806	2454,09	0	
25	7,8	13,8	1286230,312	9559,834	3233,57	0	
26	9,0	15,9	1455008,164	4822,068	1561,15	0	
27	5,9	10,3	285910,537	2260,306	757,90	0	
28	8,6	15,2	703240,274	6347,727	1917,09	0	
29	7,6	13,4	1039350,422	13763,699	2778,67	0	
30	8,8	15,6	2513374,250	22993,956	3248,36	0	
31	9,2	16,3	893989,272	10023,020	2524,32	0	
32	8,2	14,5	482369,302	4507,106	1229,61	0	
33	6,4	11,3	167172,265	2166,814	840,55	0	
34	13,0	23,6	98330,682	2205,240	937,49	0	
35	9,6	17,0	159342,479	2195,312	844,20	0	
36	9,0	15,9	1095335,583	8145,354	2981,69	0	
37	8,4	14,9	3334409,568	18393,993	5024,48	0	
38	8,5	15,0	665603,794	8294,511	2598,14	0	
39	8,7	15,3	427084,252	4952,417	2091,31	0	
40	8,0	14,2	1697253,952	16137,435	3808,77	0	
ID fransoso	Sistema	pendenza gradi	in	pendenza in %	area frane mq	perimetro frane m	lunghezza m

Fig. 4.23.2. parametri geometrici delle Landslide Dam

ISLDDMSYS	V_A	V_P	V_L	V_W	V_HMIN	V_HMAX	V_SL	ID_V	Dislivello bacino	Nome bacino principale
1	1582536,029	6486,535	2480,607	1121,002	401,3410	837,7007	0,176	2	436,3597	Calore
2	226205,344	1961,124	480,162	643,429	21,9216	237,0000	0,448	4	215,0784	Calore
3	3860171,538	9512,683	3310,482	2404,610	499,8209	910,8286	0,124	6	411,0077	Tammaro
4	3304150,952	7693,702	2916,330	1738,300	449,0000	911,1671	0,158	8	462,1671	Fiumicello
5	427557,742	2762,647	1043,477	476,313	311,3297	457,0000	0,140	40	145,6703	Cervaro
6	468406,619	3733,616	1611,201	276,192	275,0000	613,3434	0,210	11	338,3434	Cervaro
7	1699589,156	5625,493	1842,830	1635,861	88,1704	607,0539	0,282	13	518,8835	Cervaro
8	760674,599	4379,504	1789,026	871,995	84,0026	576,6443	0,276	15	492,6417	Cervaro
9	353852,466	2548,249	1041,759	436,313	95,6773	254,0000	0,152	16	158,3227	Cervaro
10	622767,797	4160,164	1748,686	473,690	395,0759	685,7977	0,166	1	290,7218	Cervaro
11	1583646,718	7210,632	3103,673	841,527	188,8962	1030,8459	0,271	19	841,9497	Mingardo
12	520944,953	2992,088	874,711	762,772	349,1337	479,3316	0,149	27	130,1979	Mingardo
13	13167883,932	17883,901	5258,282	5154,504	443,2343	915,0000	0,090	5	471,7657	BUSSENTO
14	2568746,827	8350,303	3633,353	983,139	420,5992	928,0000	0,140	7	507,4008	SCIARAPOTAMO
15	2717251,584	6840,089	2447,238	1705,414	449,0000	803,0000	0,145	9	354,0000	SCIARAPOTAMO
16	2324944,600	7217,651	3049,678	1312,132	474,0000	876,3544	0,132	10	402,3544	SCIARAPOTAMO
17	1049862,802	5481,399	2106,739	668,940	59,0233	459,7284	0,190	14	400,7051	Ufita
18	1931088,218	8571,580	3699,488	892,818	200,0000	1095,8900	0,242	12	895,8900	Ufita
19	3701409,281	8074,001	2967,175	1492,318	422,6908	777,6310	0,120	17	354,9402	Sele
20	1579545,390	5732,038	2248,476	1078,687	431,3383	727,9684	0,132	39	296,6301	Sele
21	1500628,713	5369,937	2138,109	1042,840	523,5751	835,5681	0,146	38	311,9930	Ofanto
22	572771,296	4318,645	1739,463	436,193	270,8909	510,4282	0,138	37	239,5373	Tammaro
23	1124801,085	5853,361	2577,418	425,095	292,0858	555,5827	0,102	36	263,4969	Tammaro
24	4858920,020	9736,575	3870,391	1579,682	473,9883	903,0000	0,111	35	429,0117	
25	4445888,571	9164,633	3470,677	2337,551	517,7305	925,6516	0,118	34	407,9211	FREDANE
26	2005476,925	5373,970	1666,075	1313,581	499,0000	722,0000	0,134	33	223,0000	Cervaro
27	697690,418	3385,994	1232,327	776,970	295,0000	435,0000	0,114	32	140,0000	Ufita
28	3040068,700	6977,673	2606,050	1829,584	269,3665	560,0000	0,112	31	290,6335	Ufita
29	2560852,038	7469,083	2652,317	1521,284	215,4900	554,0000	0,128	30	338,5100	Ofanto
30	4800516,626	9836,958	3583,948	2606,155	223,3180	683,0153	0,128	3	459,6973	Tammaro
31	1870062,968	6313,517	2505,059	1132,290	437,8052	827,0469	0,155	29	389,2417	Tammaro
32	1110269,413	4299,618	1464,784	982,545	499,0000	684,8831	0,127	28	185,8831	Tammaro
33	290787,301	2491,600	1022,760	371,933	570,7264	681,2486	0,109	26	110,5222	Ofanto
34	418971,640	2525,217	1004,280	592,280	369,0000	610,0000	0,240	25	241,0000	Ufita
35	436324,237	3247,313	1352,416	321,755	99,0000	350,1631	0,186	24	251,1631	Ufita
36	2542328,536	8034,549	3049,999	1170,726	171,0000	535,5797	0,120	23	364,5797	Tammaro

37	5905365,110	13955,110	5319,048	1326,107	220,4380	850,0000	0,118	22	629,5620	Tammaro
38	2150470,897	7249,897	2882,344	1436,479	516,4825	852,8836	0,117	21	336,4011	Ofanto
39	1370447,743	5575,749	2172,507	923,485	120,0000	420,0000	0,138	20	300,0000	Calaggio
40	6986092,099	11025,562	3988,230	2316,760	448,3528	902,0000	0,114	18	453,6472	Tammaro

ID Sistema
fransoso

Area mq

Perimetro

Lunghezza

Larghezza

Quota minima

quota massima

Pendenza in %

ID bacino

Fig. 4.23.4. parametri geometrici dei bacini sottesi alle frane

LSLDDMSYS	USLkLsld_A	USLkLsld_P	ID_USLSLD	USLkLsld_L	USLkLsld_W	USLSLD_SLP	USLSLD_SLD
2	3926,614	608,006	8	292,273	16,767	0,9	0,5
4	249969,214	3476,579	18	1593,352	138,908	5,0	2,8
5	241461,786	3628,224	21	1714,058	285,193	3,3	1,9
6	23391,496	876,491	5	382,091	110,330	2,9	1,7
8	23753,244	1145,156	6	536,874	57,659	10,6	5,9
9	14385,405	601,791	7	230,778	99,904	12,2	6,9
10	8373,783	596,380	14	279,360	49,244	5,2	3,0
11	114317,461	2173,069	9	987,575	183,054	4,2	2,4
12	38803,699	1345,711	20	629,528	85,019	1,2	0,7
16	202226,078	2827,182	19	1301,245	251,553	2,6	1,5
17	219750,027	2479,850	3	1107,813	352,391	5,0	2,9
20	168166,145	2459,776	16	1151,654	211,545	3,8	2,2
22	45458,432	1134,656	23	525,929	132,666	3,9	2,2
23	434427,032	4873,868	1	2165,550	260,362	2,5	1,4
26	38763,329	1723,524	15	393,585	89,792	7,3	4,1
28	232282,523	3480,240	22	1579,284	158,310	10,0	5,7
29	56190,172	1714,199	4	798,588	104,776	2,9	1,7
32	165031,397	3523,809	25	1539,120	130,679	5,0	2,9
33	48150,362	2151,085	10	986,485	81,045	3,0	1,7
34	10473,574	489,264	12	202,356	76,161	5,9	3,4
35	32861,323	1102,280	11	513,510	74,507	17,4	9,8
36	343446,139	4491,407	2	1622,985	271,427	3,7	2,1
37	1779971,041	12365,290	24	5623,481	790,048	2,8	1,6
39	280383,964	3413,689	17	1565,646	293,026	13,7	7,7

area

perimetro

Id

Lunghezza

larghezza

pendenza %

Pendenza in gradi

Fig. 4.23.5. parametri geometrici delle aree sub pianeggianti a monte degli accumuli di frana

LSLDDM SYS	ID_FRINS T	FRINLSLD _T	FRINLS_ ACT	FRINSTH MIN	FRINST_ X	FRINST_ Y	FRINSTH MAX	FRINLSL D_L	FRINLSL D_W	FRINLSL D_A	FRINLSL D_P	RANG E	FRINSSL P_P	FRINSSL P_D
3	7	Lsld	Q	522,8749	2535952, 4466	4567354, 8082	755,8766	842,528	545,128	198506,51 1	3390,590	233,00 17	28,9	15,8
6	15	Erosional	Q	279,9611	2555848, 9753	4450167, 0943	295,3607	41,919	167,983	4580,811	395,499	15,399 6	12,6	7,1
8	17	Erosional	Q	75,0000	2563358, 0831	4444674, 0000	120,1502	64,991	455,987	24254,470	1004,504	45,150 2	39,3	20,5
9	18	Erosional	A	96,0000	2561350, 0000	4444814, 0000	107,0000	55,785	96,760	4737,901	342,581	11,000 0	15,8	8,9
12	9	Lsld	Q	350,0000	2526132, 2067	4563914, 9141	391,2773	144,383	429,348	48480,804	1505,521	41,277 3	12,9	7,3
13	8	Erosional	I	425,0000	2537470, 0000	4564788, 5612	516,2632	59,092	869,442	32375,074	1752,525	91,263 2	57,2	29,2
17	16	Erosional	Q	49,4291	2562864, 0419	4443134, 0000	100,0000	60,516	822,515	40425,926	1752,391	50,570 9	22,2	12,3
19	11	Erosional	I	399,5618	2533419, 6607	4541636, 4636	434,9689	129,060	1100,037	112453,07 1	2311,519	35,407 1	18,3	10,3
20	10	Lsld	Q	425,0000	2548743, 5347	4547855, 3479	471,3907	138,710	380,394	40752,493	1732,848	46,390 7	14,1	8,0
23	2	Lsld	Q	291,9651	2505329, 5753	4565673, 5753	349,6815	297,738	835,448	238392,05 7	2287,485	57,716 4	13,1	7,3
28	4	Lsld	Q	270,0000	2506437, 9600	4567027, 4206	380,9654	873,547	288,521	198126,95 2	2937,021	110,96 54	13,7	7,8
29	3	Lsld	Q	198,3598	2510487, 4546	4563434, 0000	432,9454	395,438	1120,775	497921,46 0	9213,259	234,58 56	23,3	13,0
32	6	Lsld	Q	499,0000	2530052, 0323	4568776, 0323	549,4411	154,904	854,577	119139,87 9	2273,970	50,441 1	23,9	13,4
34	12	Erosional	Q	375,0000	2523451, 9432	4532172, 7703	379,3912	68,262	255,294	10017,797	684,089	4,3912	2,5	1,4
35	13	Erosional	Q	100,9834	2496750, 2411	4553834, 0000	130,0362	96,356	175,475	8283,265	478,394	29,052 8	25,6	14,3
36	1	Lsld	A	170,0000	2510707, 2238	4562134, 0000	292,2776	300,288	932,303	301672,45 2	3032,534	122,27 76	27,1	15,0
39	14	Lsld	Q	121,3132	2540918, 0790	4501805, 9210	195,2316	361,423	174,632	70425,481	1095,502	73,918 4	21,9	12,2
Id landslide dam	Id versante instabile	Tipologia : Lsld= frana; erosional= erosionale	Stato di attività	Altezza minima	X coordinat e punto più alto	Y coordinat e punto più alto	Altezza massima	Lunghezz a	Larghezza	Area	Perimetro	Disliv ello	Pendenza in gradi	Pendenza in %

Fig.4.23.5. Parametri geometrici delle aree di instabilità presenti sul versante opposto al cumulo di frana

4.3. Descrizioni dei casi di studio maggiormente significativi

Il bacino del Fiume Tammaro comprende i sistemi franosi con maggiore estensione longitudinale ed areale di tutta la Regione ed un quarto dei sistemi franosi che hanno formato sbarramenti fluviali. Sono particolarmente significativi i sistemi di Serre Delle Forche, del territorio Comunale di Paduli (BN), il sistema di Masseria Orlando, la frana di loc. Castello nel territorio comunale di San Giorgio la Molara(BN) e la frana lungo la strada provinciale di Pesco Sannita (BN).

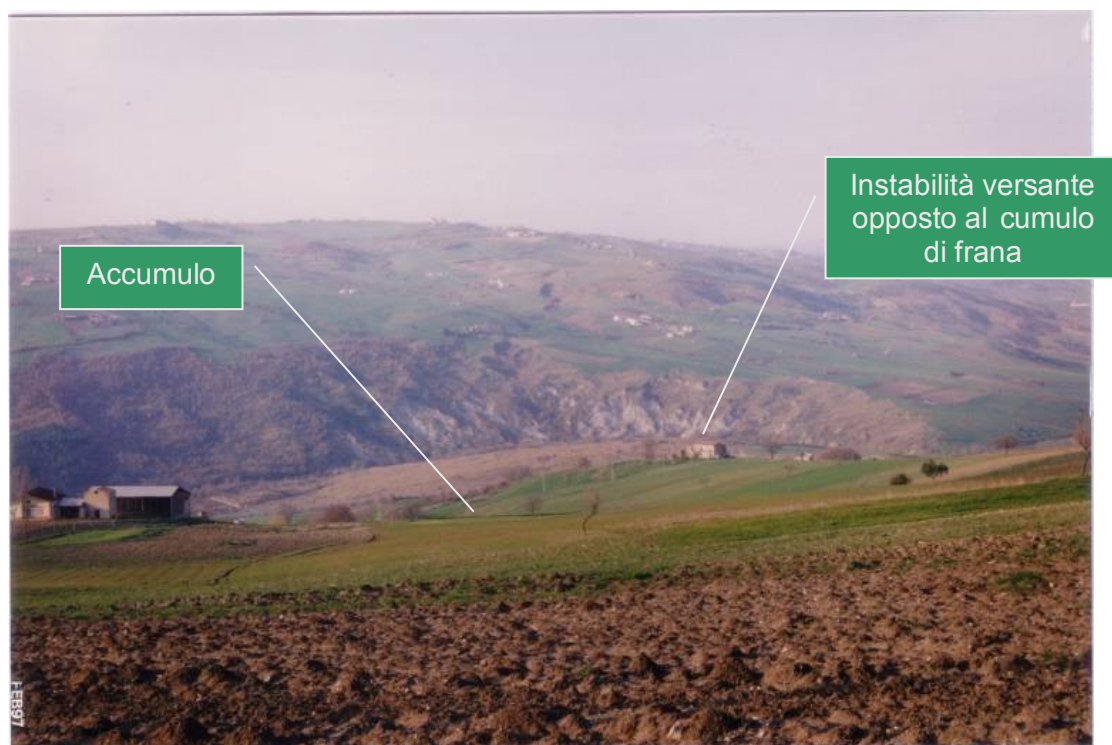
Il Sistema di Serre Delle Forche (id = 36) è un sistema attivo con mobilitazioni stagionali. Lungo circa 3 chilometri, presenta la classica forma a clessidra, tipico delle frane all'inizio dello stadio evolutivo (Guida & Iaccarino, 1991), con ampie zone di distacco ed accumulo e canale centrale stretto ed allungato. L'area di distacco (source area) si è ampliata verso l'alto con riattivazioni retrogressive fino a raggiungere la zona di crinale, mentre il cumulo presenta una forma a ventaglio e rappresenta il risultato della sovrapposizione di almeno 5 generazioni di colata rapida sovrapposte. A monte dell'accumulo è ben visibile un antico terrazzo re-inciso dal fiume che approfondisce il suo corso in destra idraulica. Il terrazzo è generato non solo dall'interramento del lago di sbarramento, ma anche di depositi di *outburst* di altri sistemi adiacenti. Il versante opposto alla zona di accumulo si presenta molto instabile, caratterizzato da fenomeni denudazionali di tipo calanchivo frane di colata rapida in depositi argilloso - marnosi. A valle dell'accumulo si distinguono tre generazioni di conoidi (*outburst*), con la più recente rilevata a ridosso del versante in destra idraulica.

Il sistema franoso di loc. Castello (ID 37), poco a monte di Serre Delle Forche, rappresenta il sistema di maggiore estensione della Regione Campania. Lungo quasi 5 km, copre tutto l'ambito morfologico crinale – versante – fondovalle. A monte dell'accumulo un'ampia superficie terrazzata testimonia la presenza di un antico lago che si chiude in prossimità del sistema franoso, dove il fiume si incassa e re-incide sia l'accumulo sia il substrato geologico relativo. Le conoidi di *outburst* sono relativamente piccole rispetto alle dimensioni del lago, e ciò può essere dovuto a due fattori: 1. Il dam break è stato lento e graduale nel tempo; 2. l'attività dei sistemi franosi posti a valle (ID 29, 36) ha obliterato i depositi di deiezione. La frana di loc. Castello è suscettibile a rimobilizzarsi in seguito a scossa sismica, come testimoniato

dalle memorie storiche degli abitanti del luogo che riportano notizie riguardo i danni alle abitazioni. in seguito al terremoto del 1980. Inoltre, in prossimità del cumulo sono ben visibili i resti in pietra di un ponte distrutto dalla frana in seguito al terremoto del 1805.



Fig.4.24. modello 3d della frana di Serre delle Forche



4.24.1. Foto dell'area di accumulo del sistema franoso di Serre delle Forche



Fig.4.25. frana di Serre delle forche, zona di accumulo

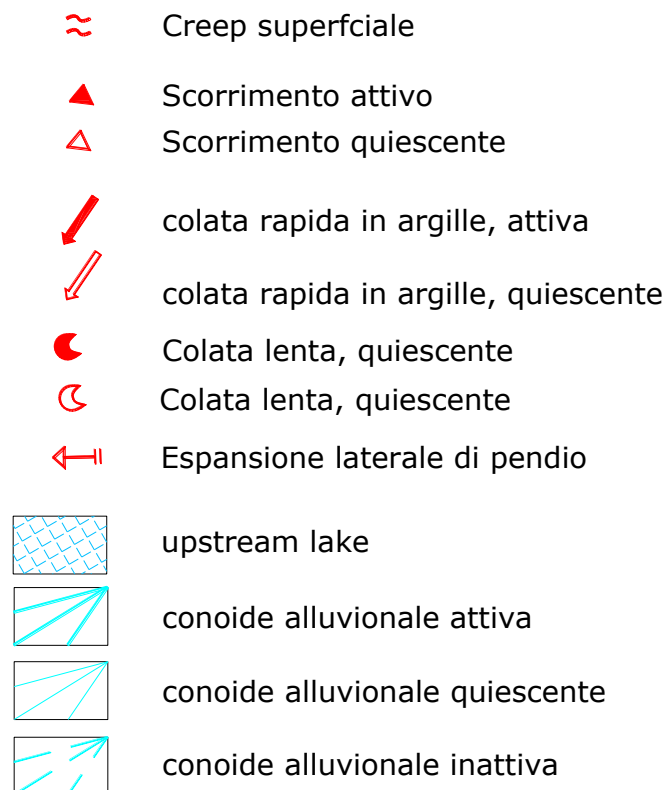


Fig.4.26. Legenda della cartografia di dettaglio dei sistemi franosi che inducono sbarramenti fluviali (Carbone et al., 2007)

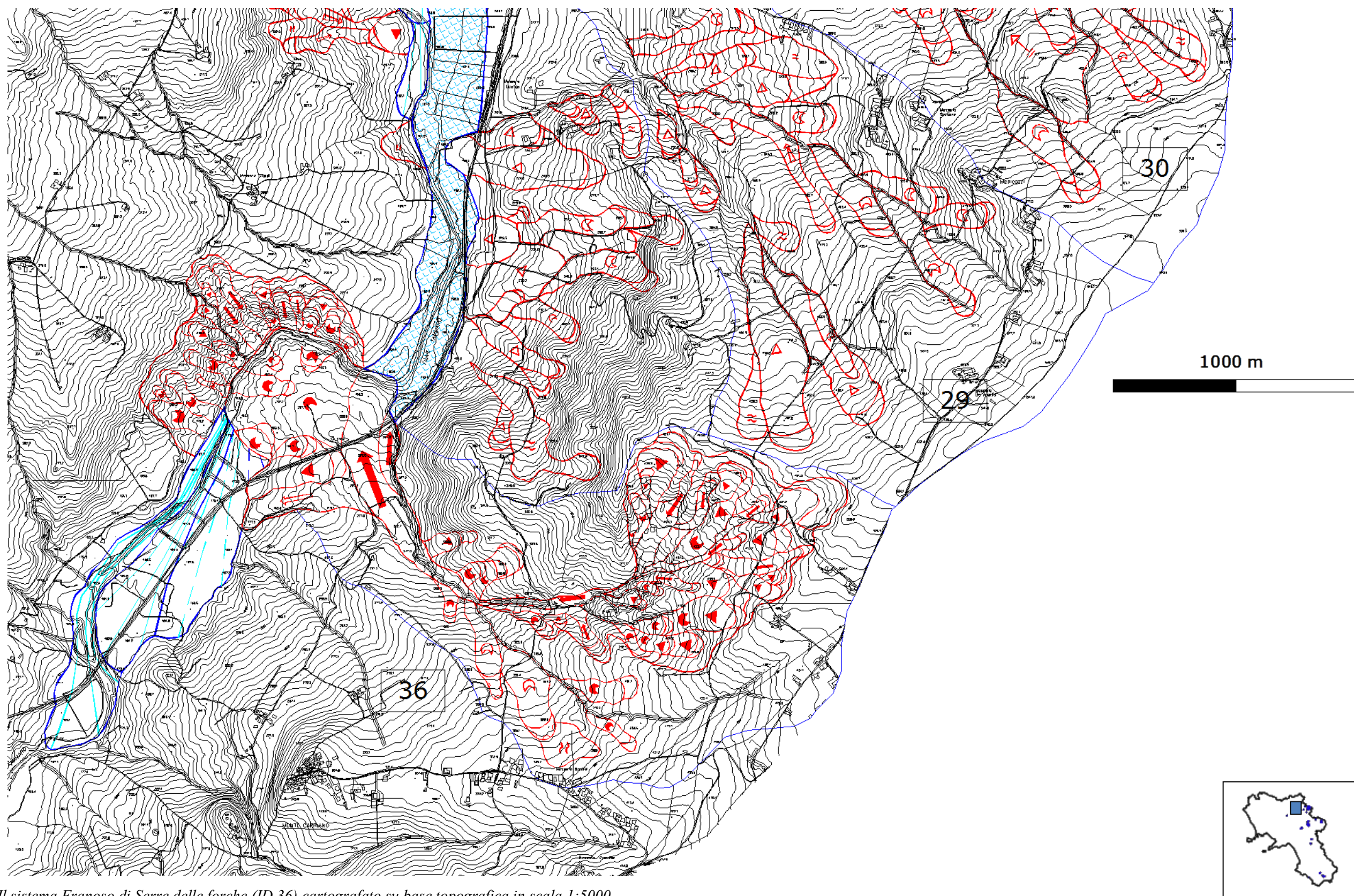


Fig. 4.27. Il sistema Franoso di Serre delle forche (ID 36) cartografato su base topografica in scala 1:5000

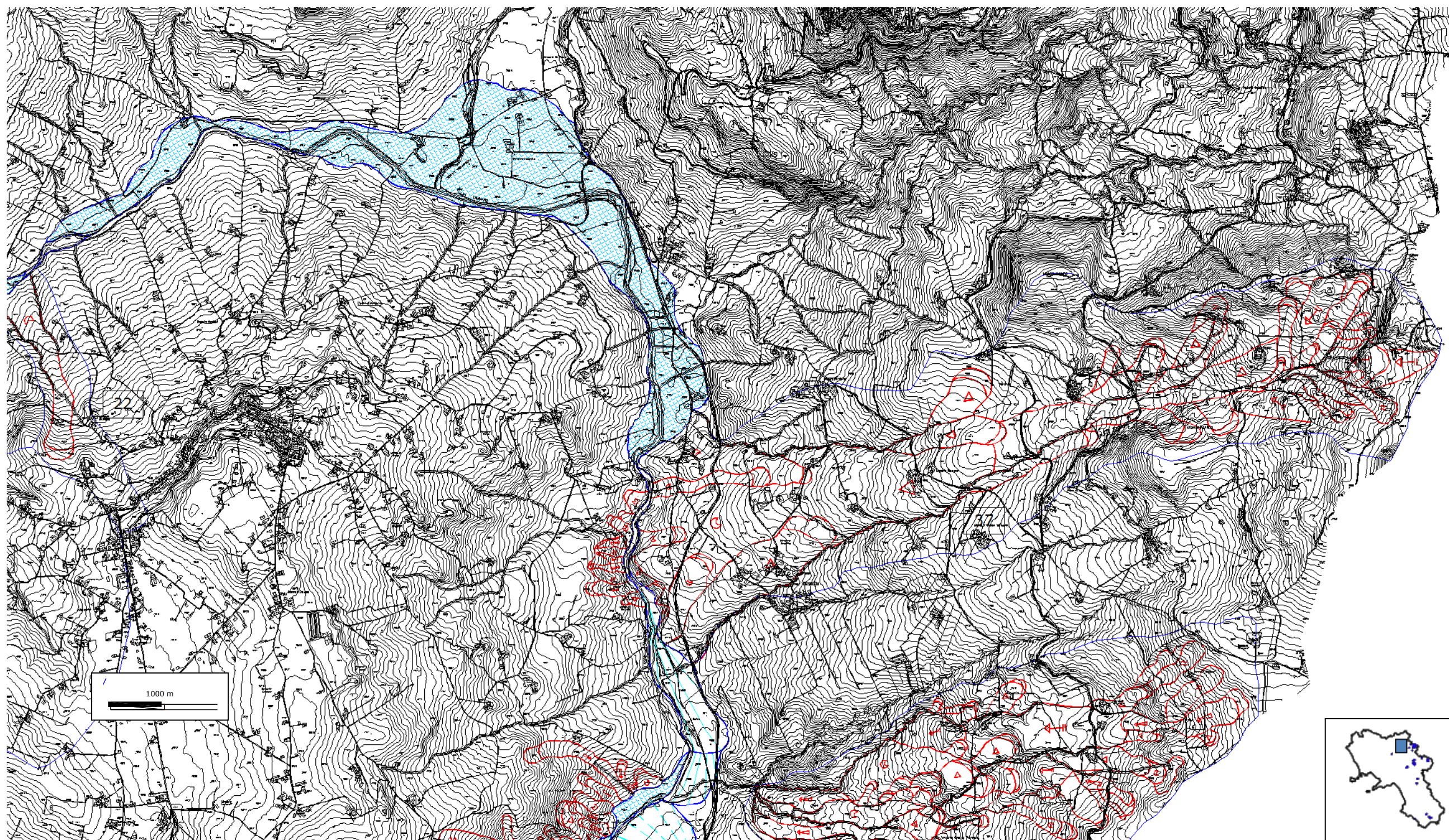


Fig.4.28.Frana di loc. Castello nel comune di San Giorgio La Molara (BN)

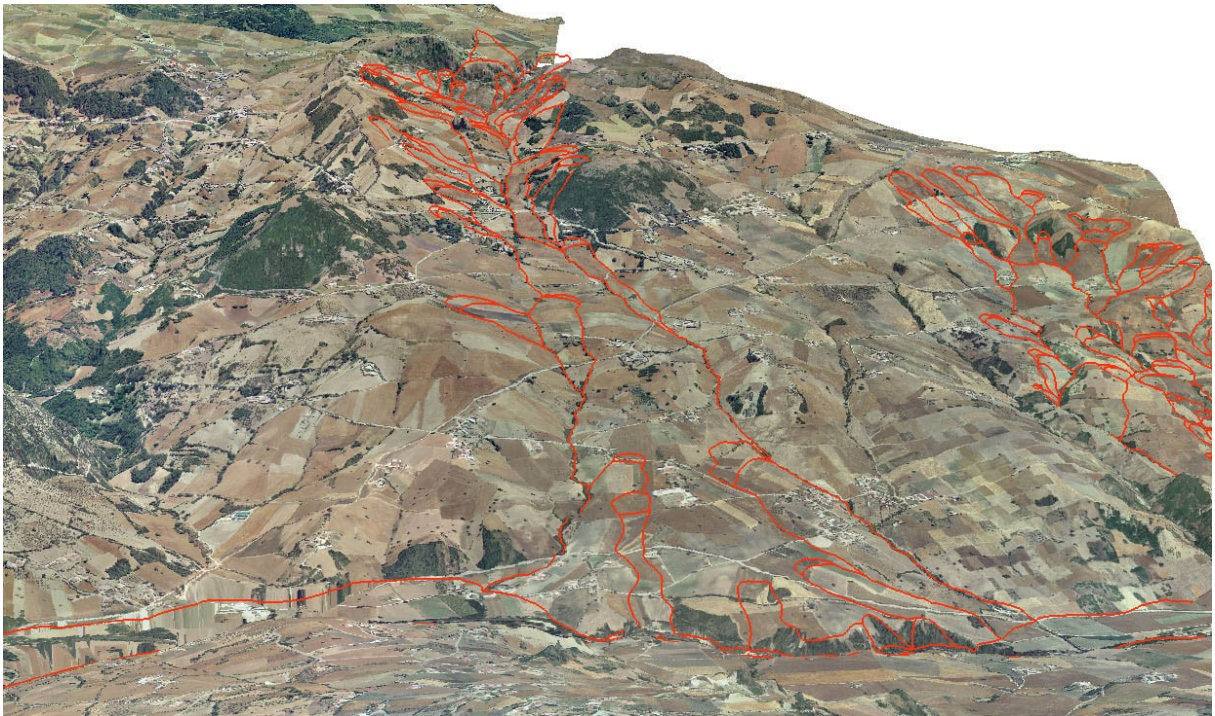


Fig.4.29.modello tridimensionale della frana di loc. Castello



Fig.4.30. Frana di loc. Castello: particolare dell'area di accumulo.

Il sistema franoso di loc. Masseria De Angelis (ID 29), è caratterizzato da un ambito morfologico (bacino idrografico) contenente vari fenomeni franosi singoli il cui degrado legato all'azione degli agenti esogeni ha contribuito a formare un'ampia conoide detritico - alluvionale alla base. Il canale di alimentazione è stato catturato da una linea di faglia in sinistra idraulica, pertanto la conoide è da considerarsi inattiva. Si riconoscono delle superfici

Pompeo Coico – Il Multirischio Idrogeologico in Regione Campania

terrazzate a monte, della conoide, residui dell'antico lago e delle conoidi alluvionali a valle. Lo scalzamento al piede ad opera dal fiume Tammaro ha innescato una crisi di instabilità sul versante opposto che sta evolvendo autonomamente ed in modo retrogressivo.

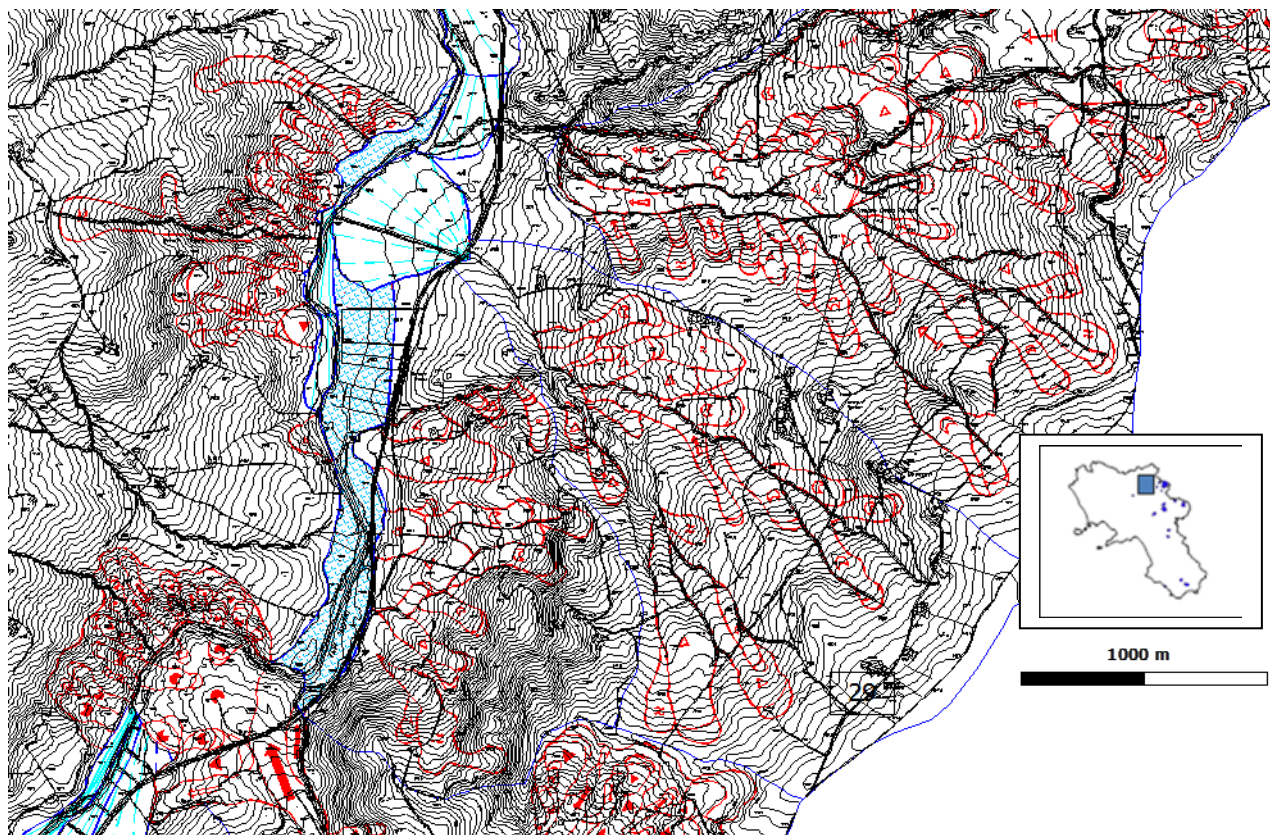


Fig. 4.31. Sistema franoso di loc. De Angelis (ID 29), comune di Paduli, (BN).

Il sistema franoso loc. Masseria Orlandi (ID 30) nel comune di Paduli (BN) è caratterizzato un insieme di frane di diversa tipologia, unito a fenomeni di espansione laterale di pendio (Lateral Spread, Varnes, 1978) che coinvolgono interi blocchi di substrato. La zona di accumulo presenta un'anomalia volumetrica con il resto del sistema franoso in quanto di estensione non proporzionata al resto del fenomeno. La parte terminale è formata dagli accumuli di colata rapida di frane la cui nicchia è stata oblitterata da eventi successivi di tipo *rock block slide* (Varnes 1978) provenienti dall'area di alimentazione.

Il sistema franoso è ubicato in un'area caratterizzata da numerosi esempi di sbarramenti fluviali pregressi, pertanto può essere preso ad esempio per la descrizione dei "sbarramenti da frana in evoluzione" (*Landslide Dam in Evolution*).

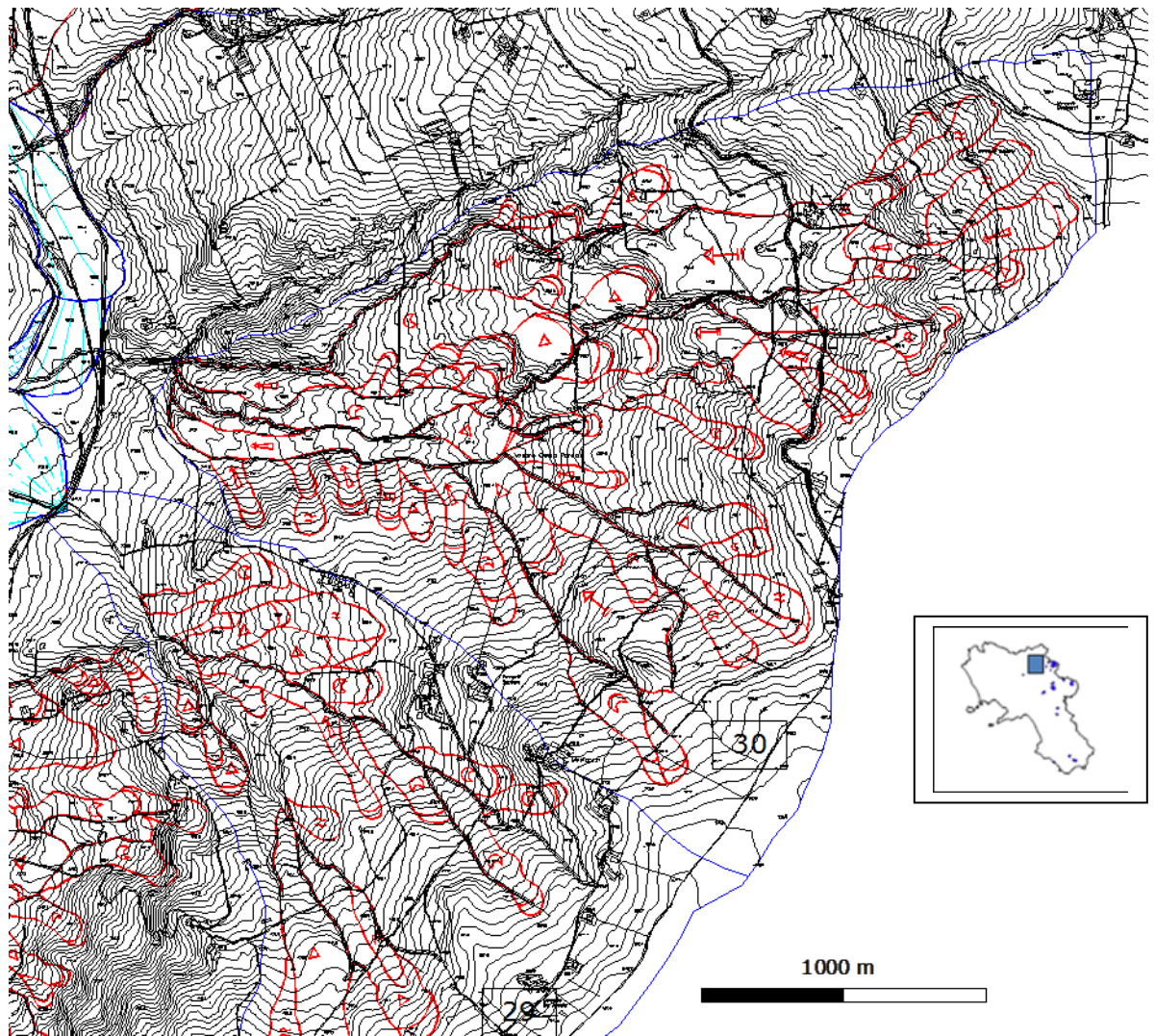


Fig. 4.32. Il sistema franoso di loc. Masseria De Angelis (ID 30), comune di San Giorgio La Molara, (BN).

Il sistema franoso ubicato nelle adiacenze del centro urbano di Pesco Sannita (BN) (ID 23) è un sistema costituito da una frana di tipo scorrimento roto - traslazionale evoluto in parte a colata. Il cumulo è stato oggetto di rimobilizzazioni successive ed è stato in parte smantellato dall'azione erosiva del fiume. Il sistema si presenta nel complesso quiescente, con zone in attività nell'area di nicchia dove sono state poste in essere delle opere di mitigazione del rischio (pozzi drenanti). A monte dell'accumulo si riconosce un'ampia superficie pianeggiante (upstream lake), mentre a valle è riconoscibile un sistema di conoidi del quale una è ancora attiva. Il versante opposto al cumulo presenta un'instabilità legata a delle frane di colata lenta.

Lo sbarramento fluviale ad est di Masseria Cocchiarella, nel territorio comunale di Pago Veiano (BN, ID 04), è costituito da due frane distinte (type IV della classifica di Costa & Schuster, 1988). La frana in destra idraulica, di maggiori dimensioni, presenta un cumulo

ben delineato, poco destrutturato, probabilmente composto da blocchi di substrato. L'area di alimentazione è in parte livellata dagli agenti atmosferici ed in parte obliterata da piccole frane di scorrimento rotazionale. La colata lenta in sinistra idraulica presenta un canale molto reinciso ed il cumulo in parte asportato dall'azione fluviale. Nonostante la presenza di un'ampia superficie peneplanata a monte degli accumuli, a valle si riconosce una piccola conoide alluvionale, indice di una tracimazione lenta dell'antico lago.

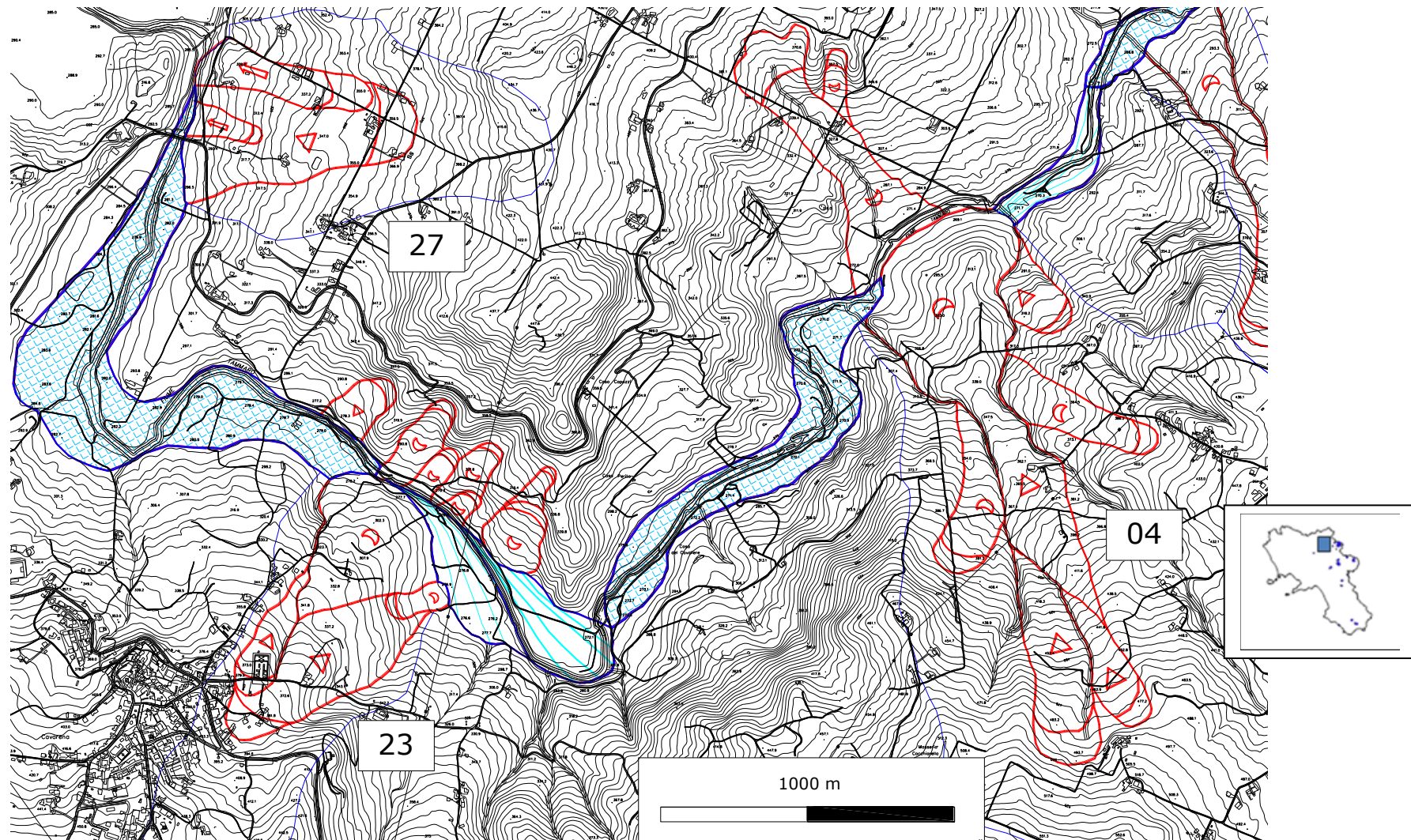


Fig.4.33. I sistemi Franosi di Pesco Sannita (ID 23) e Pago Veiano (ID 04).

4. Acquisizione, sistemazione e rappresentazione dei dati

Un esempio importante di Landslide Dam in evoluzione, cioè frane la cui rimobilizzazione del cumulo situato lungo il versante può causare uno sbarramento fluviale, è rappresentato dalla frana di Montaguto (AV, ID14). Il sistema franoso presenta un'area di alimentazione costituita da un ampio scorrimento rotazionale in depositi calcari appartenenti al flysch di Faeto la cui nicchia è interessata da debris flow e rock avalanches. Lo scorrimento evolve a colata rapida di terra che più a valle è deviata a gomito da un apparato conoidale detritico – alluvionale. La frana, dopo aver percorso un tratto a debole pendenza, nell'inverno 2005-2006 per la prima volta ha invaso un impluvio preesistente fino a raggiungere la sottostante ex SS 90. L'intervento tempestivo della Protezione Civile Regionale prima e Nazionale poi, ha impedito l'evento interessasse la linea ferroviaria Caserta - Foggia arrestando l'avanzata dei depositi di frana a poche centinaia di metri dal torrente Cervaro.

Prima dell'evento dell'inverno 2005-2006 l'accumulo si attestava a quota più elevata, in prossimità del ventaglio di testata dell'impluvio successivamente invaso, come si evince dalle analisi della serie storica delle foto aeree 1998-2006.

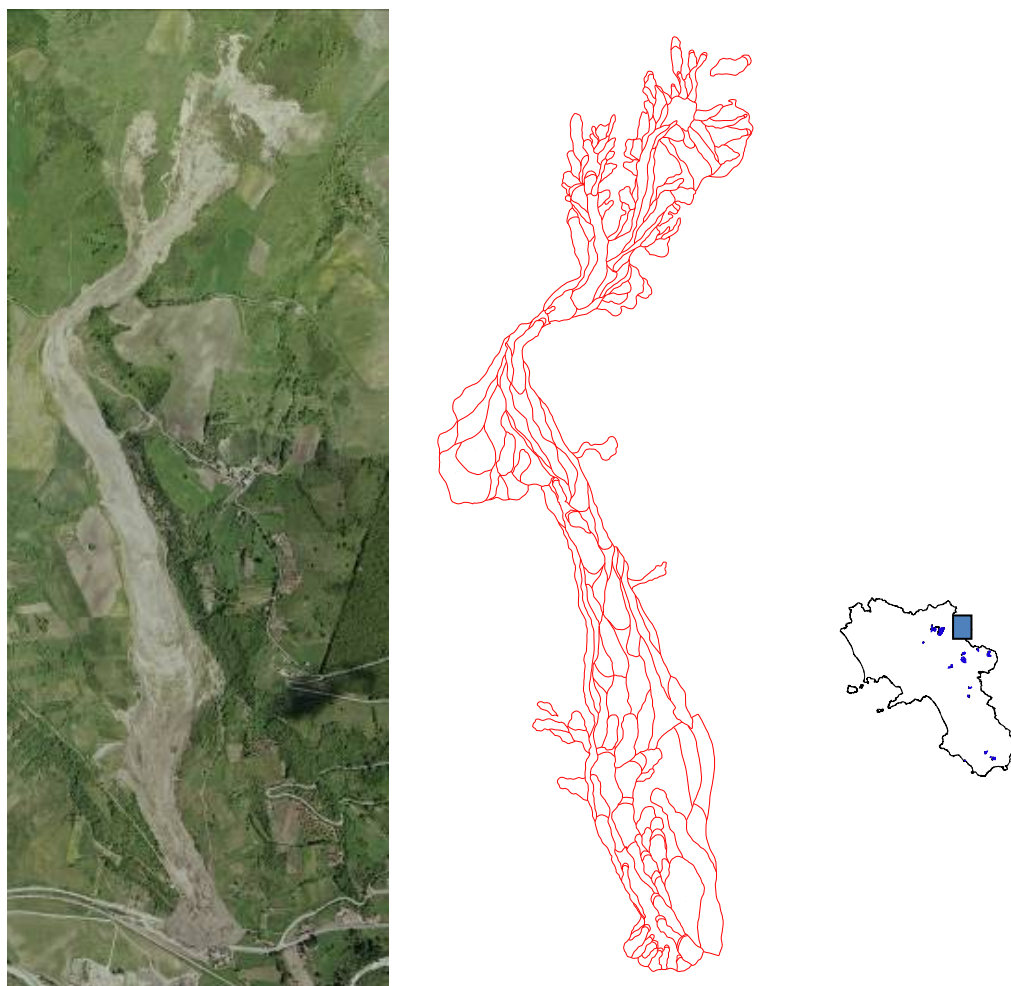


Fig. 4.34. Foto aerea post mobilizzazione del 2006. A destra la scomposizione del sistema in elementi geomorfologici semplici (da Coico et al., in prep.)



Fig. 4.34. Vista frontale del cumulo di frana di Montaguto (AV)

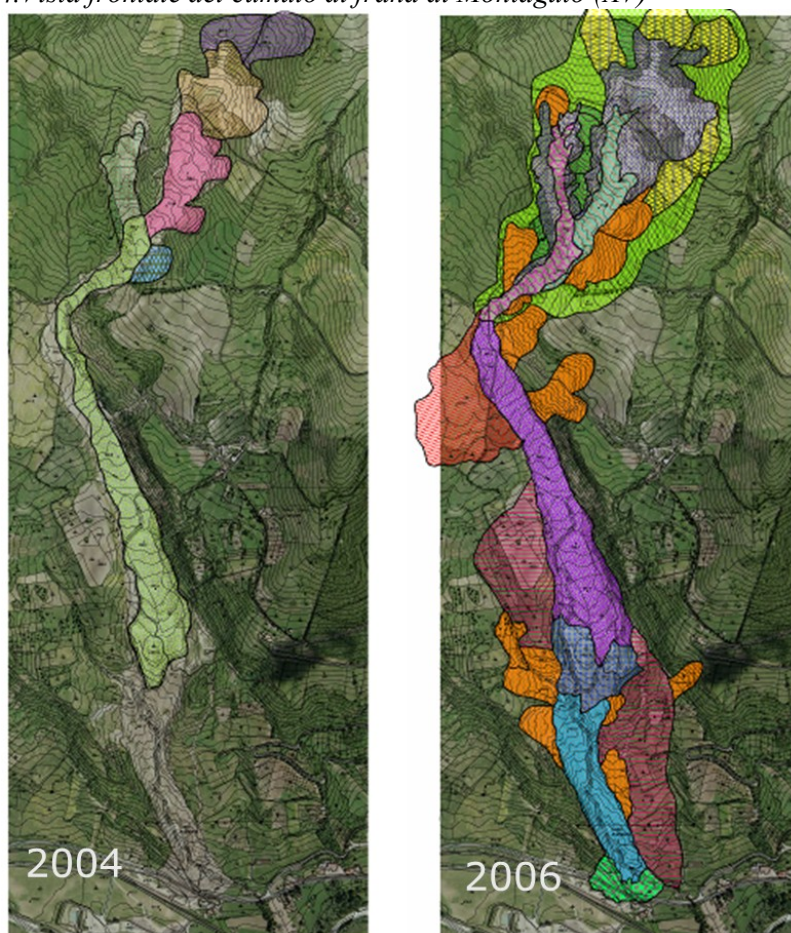


Fig.4.34.Evoluzione del sistema franoso di Montaguto in seguito alla mobilitazione del 2006

Il sistema franoso di loc. Difesa nel bacino del torrente Fiumicello (ID 02, Fig.4.35.), nel territorio comunale di Pisciotta (SA), si presenta come un fenomeno particolarmente complesso, che interessa tutto l'ambito morfologico significativo. Il fenomeno ha una mobilitazione estremamente lenta ed ha interessato ampie porzioni di substrato morfostrutturato (faccette trapezoidali), evolvendo verso il basso in scorrimenti e colate lente in argilla. Il continuo avanzare dell'intera massa riduce gradualmente la sezione idraulica del torrente sia in senso orizzontale sia verticale, soprattutto in prossimità della linea ferroviaria Napoli – Reggio Calabria che, che emerge dalla galleria per il solo tratto compreso tra la sezione idraulica del torrente (Fig.4.36).

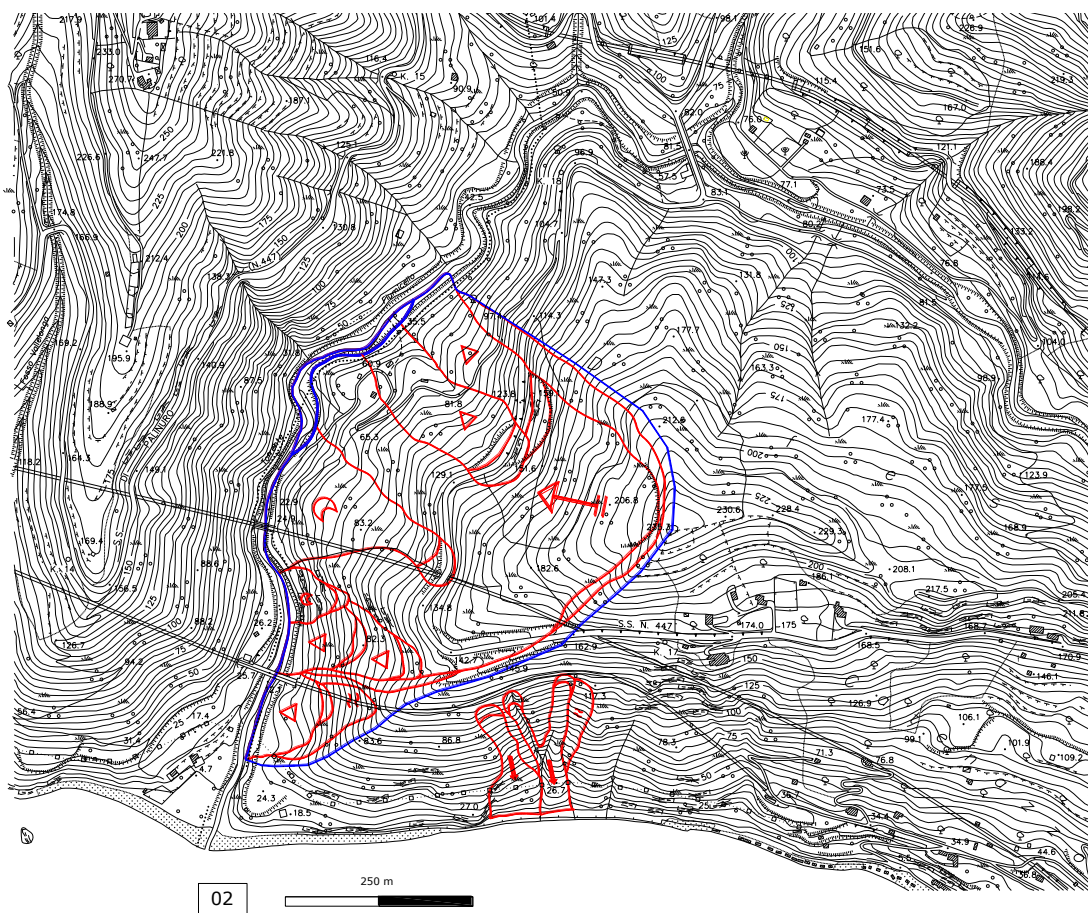


Fig.4.35.Il sistema Franoso di Pisciotta

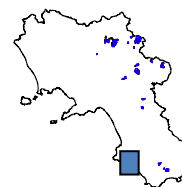




Fig. 4.37. il ponte della linea Ferroviaria sul torrente Fiumicello. In lontananza sono visibili i gabbioni devianti dal cumulo che tende ad ostruire l'alveo.



Fig. 4.38. Particolare dell'area d'insacco.

L'area di nicchia coincide con il crinale principale e presenta scarpate di dislocazione alte anche diversi metri (Fig.4.38).

Il fenomeno franoso ha iniziato la fase di sbarramento come testimoniano sia l'instaurarsi di un lago a monte (Fig. 4.39), al momento non molto esteso, sia i piccoli fenomeni di instabilità sul versante opposto (Fig. 4.40).



Fig. 4.39. Piccolo lago a monte dell'imbocco della galleria frana



Fig. 4.40. Fenomeni di instabilità sul versante opposto all'accumulo

4.4. Struttura ed organizzazione dei dati

La strutturazione dei data è stato concepita in modo da essere semplice e funzionale in modo da evidenziare gli aspetti geografici ed alfanumerici degli oggetti con le proprietà che identificano un sistema che garantisce una sua funzionalità, interrogazione, gestione e consultazione.

La struttura dei dati è stata concepita in modo semplice ed essenziale secondo un modello che segue i seguenti principi di base:

- Ogni attributo possiede una parola “chiave” univoca
- Ogni chiave univoca è associata ad una “unità informativa” elementare;
- Gli attributi simili associati all’unità elementare costituiscono il medesimo oggetto;
- L’associazione degli attributi seguono una struttura gerarchica “nidificata”;
- Multiscalarità delle rappresentazioni.

I dati ottenuti sono stati inseriti in un database, gerarchizzato in base ad un *dataset* costituito dalle informazioni derivanti dall’analisi morfometrica dei sistemi franosi e dei settori idrografici sottesi, questi ultimi distinti in base alla codifica Pfafstetter (Verdin & Verdin, 1991), allo scopo di mantenere, per ogni singolo settore, una relazione topologica con l’insieme, pur mantenendo i campi relativi all’informazione originaria codificata dal Settore Protezione Civile della Regione Campania (Fig.4.1.).

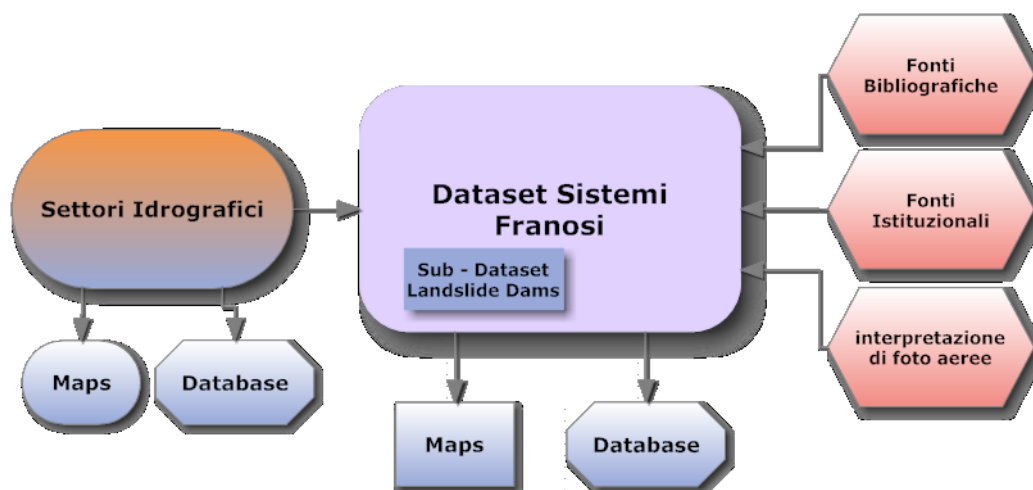


Fig.4.41. Organizzazione dei dati strutturati a scala regionale

I dati relativi alle variabili spaziali dei casi campione, sono stati gerarchizzati come *sub – dataset*, cioè come sotto insieme del *dataset* principale dei sistemi franosi, caratterizzato da un maggiore dettaglio e da un numero maggiore di informazioni. (Fig.4.2.)

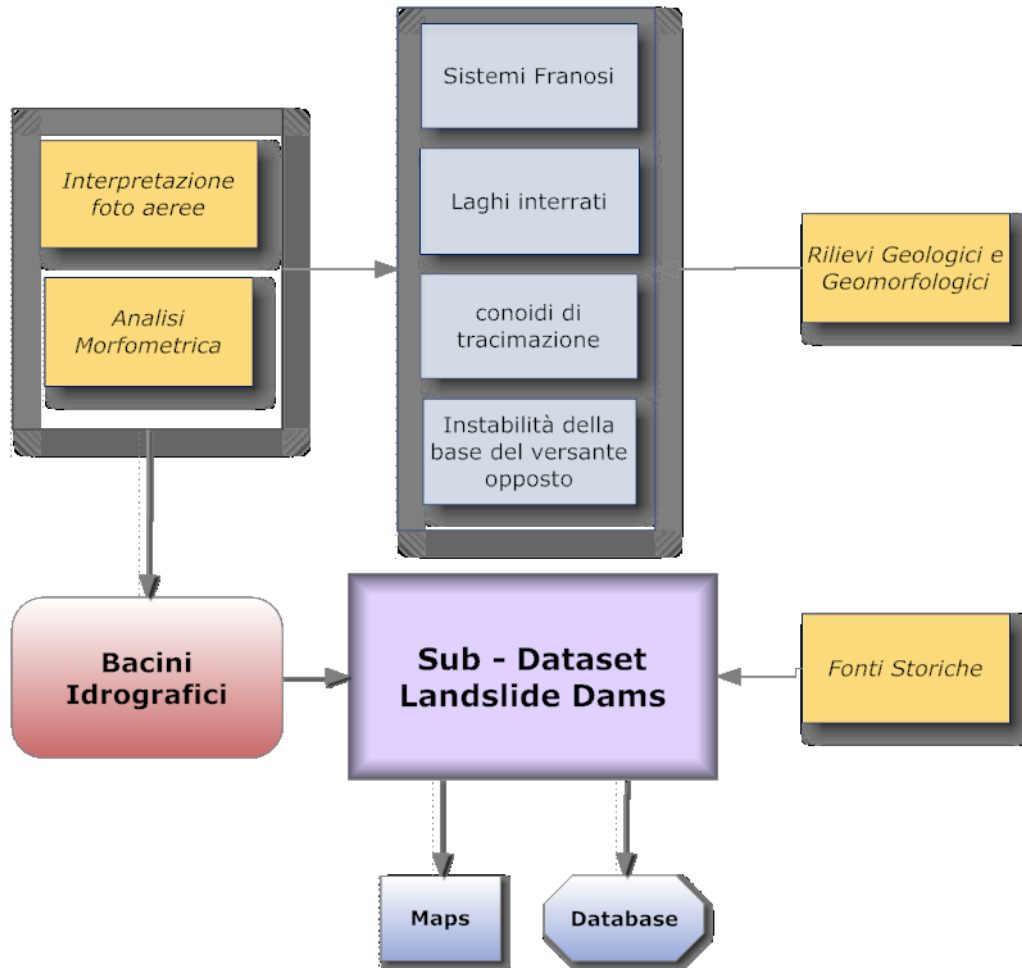


Fig.4.42. Organizzazione dei dati strutturati a scala locale (1:5000.)

4.4.1. Il dataset

Il dataset complessivo è composto da un insieme di variabili esplicative del sistema indagato, le quali riguardano sia i dati morfometrici (numerico) sia i dati relativi ai parametri predisponenti l'attivazione dei fenomeni franosi (stringa). Per i sistemi franosi ed i settori idrografici sono stati calcolate le variabili relative alla dimensione, all'acclività, all'altitudine ed all'esposizione. Inoltre, è stato individuato il punto IFFI (Amanti et alii, 1996) per ogni sistema franoso, la cui codifica contiene le informazioni

relative ai parametri predisponenti puntuali, come le coordinate geografiche (che equivalgono a quelle del sistema franoso corrispondente), l'acclività e l'altitudine.

Sistemi Franosi

Variabile	Tipologia	Decimali	Etichetta
ID_LSLDS	Numerico		Identificativo
LSLDS_CODE	Stringa		Massima Intensità Attesa
LSLDS_AREA	Numerico		Area (metri quadri)
LSLDS_PER	Numerico		Perimetro (metri)
LSLDHMEAN	Numerico		Altezza media (sul livello del mare, in metri)
LSLDHMIN	Numerico		Altezza minima (sul livello del mare, in metri)
LSLDHMAX	Numerico		Altezza massima (sul livello del mare, in metri)
LSLDSSMEAN	Numerico		Acclività media (in gradi)
LSLDSSMAX	Numerico		Acclività massima (in gradi)
LSLDSSMIN	Numerico		Acclività minima (in gradi)
LSLDS_ASP	Numerico		esposizione (in gradi, range 0-360)
lsld_range	Numerico		dislivello (in metri)

Settori Idrografici

id_bsn	Numerico		Identificativo
Bsn_area	Numerico		Area (metri quadri)
Bsn_hmax	Numerico		Altezza massima (sul livello del mare, in metri)
Bsn_hmean	Numerico		Altezza media (sul livello del mare, in metri)
Bsn_hmin	Numerico		Altezza minima (sul livello del mare, in metri)
Bsn_per	Numerico		Perimetro (metri)
Bsn_range	Numerico		Dislivello (in metri)
Bsn_smaxg	Numerico		Acclività massima (in gradi)
Bsn_smeang	Numerico		Acclività media (in gradi)
Bsn_smin	Numerico		Acclività minima (in gradi)

4. Acquisizione, sistemazione e rappresentazione dei dati

Punti IFFI

Variabile	Tipologia	Decimali	Etichetta
Id_lslds	Numerico	0	Identificativo sistema franoso
Case_stud	Stringa	0	Casi campione
Lslds_code	Stringa	0	Massima Intensità Attesa
Lsldiffi_x	Numerico	4	Coordinata orizzontale del punto IFFI (Gauss - Boaga)
Lsldiffi_y	Numerico	4	Coordinata verticale del punto IFFI (Gauss - Boaga)
Lslds_land	Stringa	0	Forme costituenti il Paesaggio
Cor_code	Numerico	0	Codice Corine Land Cover
Cor_des	Stringa	0	Descrizione Corine Land Cover
Lito_des	Stringa	0	Litologia
Clima	Stringa	0	Clima
Lslds_elev	Numerico	1	Elevazione (sul livello del mare, in metri)
Lsldssmean	Numerico	1	Acclività (in gradi)

Tabelle 4.4,3 -4, -5.Codifica delle variabili di sistema.

4.4.2. Il sub – dataset relativo ai casi campione di sistemi franosi che inducono sbarramenti fluviali

Come già esposto in precedenza, l'individuazione dei casi campione è stata possibile grazie ad un'analisi a scala regionale seguita da verifiche e controlli di campo ed aerofotogrammetrici, sviluppati a scala locale. La cartografia che ne è derivata è stata redatta in ambiente GIS (Geographic Information System). Il sistema informativo adottato ha permesso di strutturare i dati in un database grafico in formato ESRI Shape (*.shp) ed in un database non grafico in formato Access (*.mdb). L'insieme dei processi fisici è stato suddiviso in due categorie equivalenti a due database: uno contiene i dati riguardanti i processi geomorfologici legati agli sbarramenti da frana (Landslide Dam Database) e l'altro quelli idrogeomorfologici di fondovalle (Hydro – Geomorphological Database). Il database dai dati idrogeomorfologici è stato ulteriormente suddiviso in due, distinguendo gli aspetti legati all'analisi geomorfologica da quelli legati all'analisi idraulica.

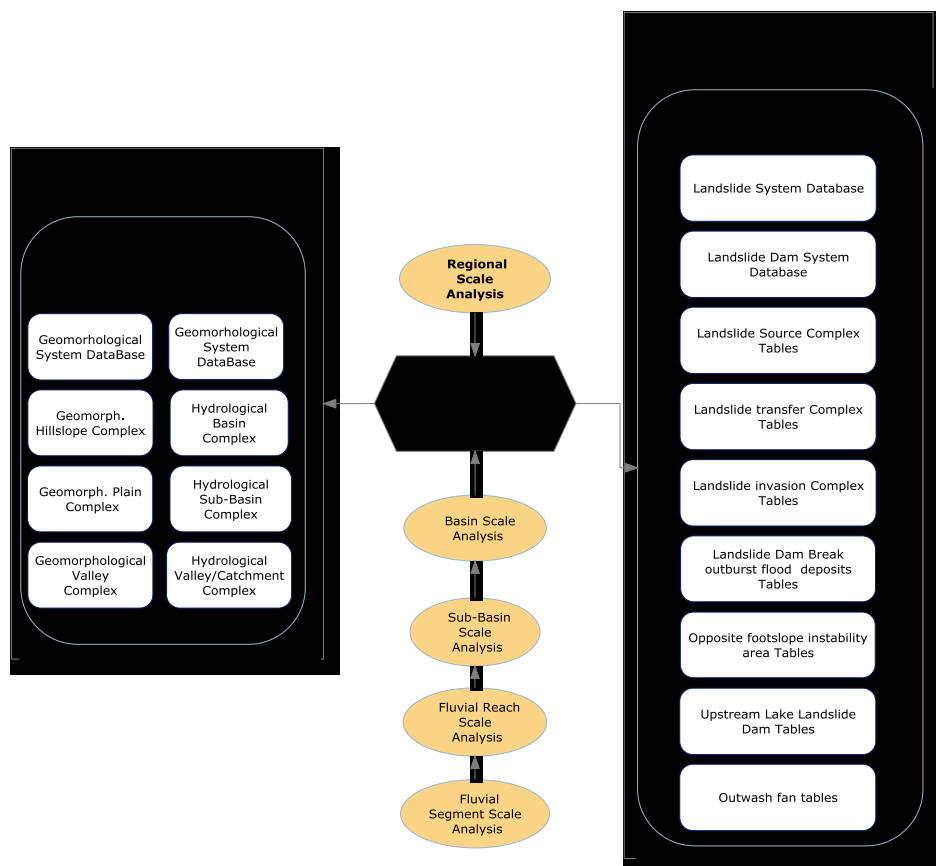


Fig.4.2.1. Struttura dataset dei dati ed analisi multiscalare delle componenti idro-geomorfologiche.

4.3.1. Strutturazione dei database numerici relativi alle Landslide Dams rilevate

Di seguito si riporta la struttura dell'intero Database.

Hydro-geomorphological System DataBase**Table HyGmSyst_Gnrl: Hydro-geomorphological Systems_General**

- **ID_HyGmSyst:** Hydro-geomorphological System **Identifier**
- **HyGmSyst_Type:** Hydro-geomorphological System **Typology**
- *Dictionary: Hy: Hydrological ; Gm: Geomorphological; Ag: Anthropogenetic*
- **HyGmSyst_Name:** Hydro-geomorphological System **Name**
- **HyGmSyst_Code:** Hydro-geomorphological System **Code**

Table Hy_Gnrl: Hydrological Systems_General

- **ID_Hy:** Hydrological System Identifier
- **Hy_Type:** Hydrological System Tipology
- *Dictionary: Bsn: Main Basin; Pln: Main Plain; Kst: Karst Areas; Evc: Endorheic Volcanic*
- **Hy_Name:** Hydrological System Name
- *Name related to the Regional Toponims*
(*Id.: Sele River Basin; Sele River Plain; Alburni Karst Summit; Flegrean Field*)
- **Hy_Code:** Hydrological System Code

Table Hy_Bsn_Gnrl: Main Basin_General

- **ID_Bsn:** Main Basin Identifier
- **Bsn_Name:** Main Basin Name
- **Bsn_Code:** Main Basin Code
- **Bsn_X:** Main Basin end point Latitude
- **Bsn_Y:** Main Basin end point Longitude
- **Bsn_H:** Main Basin end point Elevation

Table Hy_Bsn_Sbs_Gnrl: Sub-Basin_General

- **ID_Sbs:** Sub-Basin Identifier
- **Sbs_Name:** Sub-Basin Name

- **Sbs_Code: Sub-Basin Pfafstetter Code**
- **Sbsn_X (Sub_Basin end point Latitude)**
- **Sbsn_Y (Sub_Basin end point Longitude)**
- **Sbsn_H (Sub_Basin end point Elevation)**

Table Gm_Gnrl: Geomorphological Systems_General

- **ID_Gm: ID_Geomorphological System Identifier**
- **Gm_Type: Geomorphological System Tipology**
Dictionary: S_: Summit; H_: Hillslope; V_: Valley; P_: Plain; C_ Coast.
- **Gm_Name: Geomorphological System Name,**
Name related to the Regional Toponims
(Id.: Formicoso Summit, Ufita Upper Valley, SE Formicoso Hillslope; Upper Ufita Valley)
- **Gm_Code: Geomorphological System Code**

Table Gm_H_Gnrl: Hillslope Complex_General

- **ID_H: ID Open Hillslope Complex Identifier**
- **H_Type: Open Hillslope Complex Tipology**
Dictionary: Sh: Shoulder; Ff: Free Face; Bk: Backslope; Ft: Footslope; Ss: Side slope;
- **H_Name: Open Hillslope Complex Name,**
Name related to the Regional Toponims
(Id.: Free Face SE Formicoso Hillslope)
- **H_Code: Open Hillslope Complex Code**

Table Gm_V_Gnrl: Hillslope Valley/Catchment Complex_General

- **ID_V: ID Valley Hillslope/Catchment Complex Identifier**
- **V_Type: Valley Hillslope/Catchment Complex Rosgen Tipology**
Dictionary: Bhc: Bedrock Hillslope Canyon;
- **Hslp_Name: Valley Hillslope/Catchment Complex Name,**
Name related to the Regional Toponims
(Id.: Incised Upper Ufita Hillslope Valley)
- **Hslp_Code: Valley Hillslope/Catchment Complex Code**

Table Gm_V_Gtry: Hillslope Valley/Catchment Complex_Basin Geometry

- **ID_V:** ID Valley Hillslope/Catchment Complex **Identifier**
- **V_A:** Valley Hillslope/Catchment Area, **A**
- **V_P:** Valley Hillslope/Catchment Perimeter, **P**
- **V_L:** Valley Hillslope/Catchment Length, **L**
- **V_W:** Valley Hillslope/Catchment Width, **W**
- **V_HM:** Valley Hillslope/Catchment MaxElevation,
- **V_Hm:** Valley Hillslope/Catchment MinElevation,
- **V_Sl:** Valley Hillslope/Catchment Mean Slope, **Sm**

Table Gm_V_Mrp: Hillslope Valley/Catchment Complex_Basin Morphometry

- **ID_V:** ID Valley Hillslope/Catchment Complex **Identifier**
- **V_Mrp_FI:** Valley Hillslope/Catchment Form Factor ($F=A/L^2$) (Horton, 1932),
- **V_P:** Valley Hillslope/Catchment Circularity ($R_c=A/(4\pi A/P^2)$), from Miller, 1953)
- **V_L:** Valley Hillslope/Catchment Elongation, $E=“(A/\pi)^{1/2}/L$ (From Schumm, 1956),
- **V_Rh:** Valley Hillslope/Catchment Relief Ratio, $R_h= (H_M-H_m)/L$, (from Schumm, 1956)
- **V_Rhp:** Valley Hillslope/Catchment Relative Relief, ($R_{hp}=R_h/P$, from Melton, 1957)
- **V_Dd:** Valley Hillslope/Catchment Drainage Density,
- **V_Sl:** Valley Hillslope/Catchment Ruggedness Number, **Rh/Dd**.

Table Gm_P_Gnrl: Plain Valley Complex_General

- **ID_V:** ID Plain Valley **Identifier**
- **V_P_Type:** Plain Valley Rosgen **Tipology**
Dictionary: Bc: Bedrock Canyon; Af: Alluvial fan floodplain; Braided Floodplain; Meander Floodplain;
- **V_P_Name:** Plain Valley Complex **Name**,
Name related to the Regional Toponyms

(Id.: Incised Upper Ufita Valley)

- **Hslp_Code:** Plain Valley Complex **Code**

Table Gm_P_Gnrl: Plain Valley Complex_Geometry (Reference reach)

- **ID_V:** ID Plain Valley **Identifier**
- **V_P_S:** Plain Valley Slope
- **V_P_SI:** Plain Valley Sinuosity Index
- **V_P_Fpw:** Plain Valley Flood prone Width (Rosgen,1994)
- **V_P_Bfw:** Plain Valley Bankfull Width (Rosgen,1994)
- **V_P_Er:** Plain Valley Entrenchment ratio (Rosgen,1994)
- **V_P_WDr:** Plain Valley Width/Depth ratio (Rosgen,1994)

Landslide System DataBase (LsldSyst_DB)

Landslide Dam System DataBase (LsldDmSyst_DB)

Table LsldDmSyst_Gnrl: Landslide Dam Systems_Landslide General

- **ID_LsldDmSyst:** Landslide Dam System **Identifier**
- **LsldDmSyst_Type:** Landslide Dam System **Typology**
- **LsldDmSyst_Name:** Landslide Dam System **Name**
- **LsldDmSyst_Code:** Landslide Dam System **Code**
- **Lsld_Piffi_X** (Landslide System IFFI point Latitude)
- **Lsld_Piffi_Y** (Landslide System IFFI point Longitude)
- **Lsld_Piffi_HM** (Landslide System IFFI point Elevation)
- **Lsld_Piffi_Hm** (Landslide System IFFI min point Elevation)

Table LsldDmSyst_Gmtr: Landslide Dam Systems_Landslide Geometry

- **ID_LsldDmSyst:** Landslide Dam System **Identifier**
- **LsldSyst_A** (Landslide System Area)
- **LsldSyst_L** (Landslide System Length)
- **LsldSyst_W** (Landslide System Wight)
- **LsldSyst_T** (Landslide System Mean Tickness)

- **LsldSyst_V (Landslide System Volume)**
- **LsldSyst_S (Landslide System Mean Slope)**

Table LsldDmSystSrc_Gmtr: Landslide Dam System_ Landslide Source Geometry

- **ID_LsldDmSyst:** Landslide Dam System_Identifier
- **LsldDmSyst_Type:** Source Landslide Dam System Typology
- **LsldSyst_As:** Source Landslide System Area
- **LsldSyst_Ls:** Source Landslide System Length
- **LsldSyst_Ws:** Source Landslide System Wight
- **LsldSyst_Ts:** Source Landslide System Mean Tickness
- **LsldSyst_Vs:** Source Landslide System Volume
- **LsldSyst_Ss:** Source Landslide System Mean Slope

Table LsldDmSystTrf_Gmtr: Landslide Dam System_Transfer Landslide Geometry

- **ID_LsldDmSyst:** Landslide Dam System_Identifier
- **LsldSyst_At:** Transfer Landslide System Area
- **LsldSyst_Lt:** Transfer Landslide System Length
- **LsldSyst_Wt:** Transfer Landslide System Width
- **LsldSyst_Tt:** Transfer Landslide System Mean Tickness
- **LsldSyst_Vt:** Transfer Landslide System Volume
- **LsldSyst_St:** Transfer Landslide System Mean Slope

Table LsldDmSystInv_Gmtr: Landslide Dam System_Invasion Landslide Geometry

- **ID_LsldDmSyst:** Landslide Dam System_Identifier
- **LsldSyst_At:** Invasion Landslide System Area
- **LsldSyst_Lt:** Invasion Landslide System Length
- **LsldSyst_Wt:** Invasion Landslide System Width

- **LsldSyst_Tt:** Invasion Landslide System Mean **Tickness**
- **LsldSyst_Vt:** Invasion Landslide System **Volume**
- **LsldSyst_St:** Invasion Landslide System **Mean Slope**

Upstream Lake Landslide Dam System Induced DataBase (UsLkLsldDmSyst_DB)

Table: UsLkLsldDmSyst_Gnrl: Upstream Lake Landslide Dam System Induced_General

- **ID_LsldDmSyst:** Landslide Dam System **Identifier**
- **LsldDmSyst_Type:** Upstream Lake Landslide Dam System **Typology**
- **UsLkLsldDmSyst_Name:** Upstream Lake Landslide Dam System Induced **Name**
- **UsLkLsldDmSyst_Code:** Upstream Lake Landslide Dam System Induced **Code**
- **UsLkLsld_X :** Upstream Lake Landslide System Upstream point Latitude
- **UsLkLsld_Y :** Upstream Lake Landslide System Upstream point Longitude
- **UsLkLsld_HM :** Upstream Lake Landslide System Induced Upstream Elevation point
- **UsLkLsld_Hm:** Upstream Lake Landslide System Induced Downstream Elevation point

Table UsLkLsldDmSystInv_Gmtr: Upstream Lake Landslide Dam System_Geometry

- **ID_LsldDmSyst:** Landslide Dam System **Identifier**
- **UsLkLsldSyst_At:** Upstream Lake Landslide System **Area**
- **UsLkLsldSyst_Lt:** Upstream Lake Landslide System **Length**
- **UsLkLsldSyst_Wt:** Upstream Lake Landslide System **Width**
- **UsLkLsldSyst_Tt:** Upstream Lake Landslide System Mean **Tickness**
- **UsLkLsldSyst_Vt:** Upstream Lake Landslide System **Volume**
- **UsLkLsldSyst_St:** Upstream Lake Landslide System **Mean Slope**

Downstream Landslide System Dam Break Flooding Induced DataBase (DsLsldDmBrk_DB)

Table: DsLsldDmBrk_Gnrl: Downstream Landslide Dam Break Flooding _General

- **ID_LsldDmSyst:** Landslide Dam System **Identifier**
- **LsldDmSyst_Type:** Downstream Landslide Dam Break Flooding **Typology**
- **UsLsldDmSyst_Name:** Downstream Landslide Dam Break Flooding **Name**
- **UsLsldDmSyst_Code:** Downstream Landslide Dam Break Flooding **Code**
- **UsLsld_X :** Downstream Landslide Dam Break Flooding point Latitude
- **UsLsld_Y :** Downstream Landslide Dam Break Flooding point Longitude
- **UsLsld_HM :** Downstream Landslide Dam Break Flooding Elevation
- **UsLsld_Piffi_Hm:** Upstream Landslide Dam Break Flooding Downstream Elevation

Table UsLkLsldDmBrk_Gmtr: Downstream Landslide Dam Break Flooding _Geometry

- **ID_LsldDmSyst:** Landslide Dam System **Identifier**
- **UsLkLsldSyst_At:** Upstream Lake Landslide System **Area**
- **UsLkLsldSyst_Lt:** Upstream Lake Landslide System **Length**
- **UsLkLsldSyst_Wt:** Upstream Lake Landslide System **Width**
- **UsLkLsldSyst_Tt:** Upstream Lake Landslide System Mean **Tickness**
- **UsLkLsldSyst_Vt:** Upstream Lake Landslide System **Volume**
- **UsLkLsldSyst_St:** Upstream Lake Landslide System **Mean Slope**

Table Outwash-fan_Gnrl: Outwash-fan system General

Table Outwash fan System_gmtr: Out wash fan system geometry

Table Frinst_Gnrl: Opposite footslope instability system general

Table Frinst_Gmtr: Opposite footslope instability system geometry

5. Metodologia di analisi adottata

I dati relativi sia all'intera popolazione regionale dei sistemi franosi, sia ai sistemi che inducono sbarramenti fluviali, sono stati analizzati attraverso metodi di elaborazione statistica allo scopo di individuare le relazioni significative che esistono tra gli eventi, i bacini "contenitori" ed i fattori predisponenti l'innescio.

Inoltre è stata verificata l'esistenza di una correlazione tra le variabili esplicative dei casi campione individuati e l'insieme dei citati fenomeni franosi. Ciò allo scopo di evidenziare la suscettibilità di altri sistemi ad evolvere secondo le modalità proprie degli sbarramenti individuati a scala di dettaglio.

La metodologia utilizzata per raggiungere gli obiettivi sopra esposti, è stata differenziata in base al *dataset* di riferimento: per l'intera popolazione dei sistemi franosi è stata utilizzata l'Analisi delle Componenti Principali (PCA), mentre per i casi campione è stata utilizzata sia la PCA sia grafici di correlazione statistici elementari.

Entrambe le analisi sono state applicate seguendo il già citato modello statistico delle "*training areas*" (Carrara et al., 1983, 1991, 1992, 1995), in cui le *training areas* sono rappresentate dal sub dataset delle landslide dams (casi campione), mentre le target areas sono rappresentate dall'intera popolazione dei sistemi franosi.

5.1. L'Analisi delle Componenti Principali (PCA)

L'analisi delle componenti principali (detta pure PCA oppure CPA) rappresenta un'analisi fattoriale ed è una tecnica utilizzata nell'ambito della statistica multivariata per la semplificazione della complessità dei dati d'origine (riduzione fattoriale).

Lo scopo principale di questo tipo di analisi è la riduzione di un certo numero di variabili (rappresentanti di altrettante caratteristiche del fenomeno analizzato) in un numero minore di variabili latenti. Ciò avviene tramite una trasformazione lineare delle variabili originarie che proietta quest'ultime in un nuovo sistema di assi cartesiani, nel quale le variabili sono ordinate in ordine decrescente di varianza: pertanto, la variabile con maggiore varianza è proiettata sul primo asse, la seconda sul secondo asse e così via. La riduzione della complessità avviene limitandosi ad analizzare le principali (per varianza) tra le nuove variabili.

Diversamente da altre trasformazioni (lineari) di variabili praticate nell'ambito dell'analisi statistica, nell'Analisi delle Componenti Principali sono gli stessi dati che determinano i vettori di trasformazione.

I dati di partenza sono organizzati in una matrice, indicata con:

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{p1} & X_{p2} & \cdots & X_{pp} \end{pmatrix}$$

dove

- le colonne rappresentano le osservazioni effettuate;
- le righe sono le variabili considerate per il fenomeno in analisi.

L'analisi delle componenti principali è stata una delle prime tecniche statistiche proposte per ridurre la dimensionalità dei dati. Le idee basilari che la caratterizzano sono state proposte da Pearson (1901) e riproposte indipendentemente da Hotelling (1933).

Se sono disponibili diverse variabili che si riferiscono a una comune area, è possibile ricercare una sintesi dell'informazione analizzando la matrice delle correlazioni fra le variabili stesse. Questo procedimento può essere utilizzato in molteplici situazioni di ricerca.

Se esiste un gruppo di variabili più strettamente correlate fra loro e se fra le stesse non è ipotizzabile una relazione di tipo causale, possiamo pensare che esse rivelino la presenza di una proprietà di tipo più generale (Marradi, 1976). Questo tipo di operazione può essere realizzato ricorrendo all'Analisi delle Componenti Principali. Le variabili su cui si effettua l'analisi sono trasformate in nuove variabili (le componenti principali), risultanti dalla combinazione lineare delle variabili originarie, e costruite in modo da non essere fra loro correlate. La tecnica permette una condensazione della maggior parte possibile dell'informazione originaria nelle prime componenti principali costruite. Per identificare la prima componente principale si determinano i pesi della combinazione lineare in modo da rendere massima la varianza della componente stessa, sotto la condizione che la somma dei prodotti dei quadrati dei coefficienti della combinazione sia uguale a 1 (Sadocchi, 1981).

La seconda componente principale si determina con gli stessi obiettivi e condizioni, con la condizione aggiuntiva che la componente principale risultante sia non-correlata con la prima.

Si determinano poi in modo analogo le successive componenti principali. I pesi che identificano componenti principali corrispondono agli autovettori associati alla radici di specifiche equazioni, che prendono il nome di radici caratteristiche o **autovalori** (Morrison, 1967).

Per valutare la riuscita e l'affidabilità dell'operazione di riduzione delle complessità dell'informazione realizzata con l'estrazione delle componenti principali, si può fare riferimento sia alla **comunalità** e alla **matrice di correlazione**.

La matrice di correlazione serve a valutare quantitativamente la **forza dell'associazione** fra due variabili quantitative continue mediante il **coefficiente di correlazione r di Pearson**. Le proprietà fondamentali di questo coefficiente sono:

- Ha valore non dimensionale compreso fra -1 e 1 .
- È simmetrico (legame che collega x e y è lo stesso che c'è tra y e x).
- Più i punti sono dispersi (più alto è il valore dello scostamento quadratico medio dei residui), più r è prossimo a 0 e più fra le due variabili sono incorrelate tra loro (**variabili indipendenti**).
- Se $r > 0$ la correlazione è positiva (o diretta) e le due variabili variano in modo concorde, se $r < 0$ la correlazione è negativa e le due variabili variano in modo discorde (correlazione inversa).
- Quando $r = 1$ o $r = -1$ abbiamo correlazioni perfette (dette rispettivamente **correlazione perfetta diretta** e **correlazione perfetta inversa**) ed i punti giacciono tutti sulla retta di regressione.

Valore di r	Interpretazione
.00-.20	Molto debole
.20-.40	Da debole a moderata
.40-.60	Da moderata a buona
.60-.80	Forte
.80-1.00	Molto forte

Fig. 5.1. Classificazione della forza dell'associazione sulla base dei valori di *r*.

La **comunalità** di una variabile rappresenta la quota di varianza di ciascuna variabile originaria riprodotta dalle componenti principali estratte. La comunalità si può calcolare dai coefficienti impiegati per determinare le componenti.

Per interpretare le componenti principali estratte si utilizza la matrice dei pesi fattoriali (*factor pattern matrix*) che presenta le correlazioni fra le variabili originarie e le componenti principali.

La PCA è una tecnica statistica adoperata in molti ambiti scientifici, perché quando ci si trova a semplificare un problema, riducendo la dimensione dello spazio di rappresentazione, si ha allo stesso tempo una perdita dell'informazione contenuta nei dati originali. La PCA consente di controllare egregiamente il “*trade-off*” tra la perdita d'informazioni e la semplificazione del problema, per fare ciò basta scegliere il numero appropriato di autovettori.

L'obiettivo della PCA consiste nell'individuare opportune trasformazioni lineari di *Y* delle variabili osservate facilmente interpretabili e capaci di evidenziare e sintetizzare l'informazione insita nella matrice iniziale *X*. Tale strumento risulta utile soprattutto quando si ha a che fare con un numero di variabili considerevole da cui si vogliono estrarre le maggiori informazioni possibili pur lavorando con un *set* più ristretto di variabili.

5.2. Analisi a livello regionale (*Target area analysis*)

L'applicazione dell'analisi è stata effettuata sulle variabili intrinseche e sulle correlazioni che intercorrono tra quest'ultime, tra i fattori ambientali predisponenti e gli ambiti morfologici significativi:

- Sistemi franosi (10 variabili, cfr. Fig.4.2.1)
- Sistemi franosi – settori idrografici (18 variabili, cfr. Fig. 4.2.2.)

L'obiettivo dell'analisi è quello di individuare variabili incorrelate tra loro che siano in grado di riprodurre la variabilità presente nei dati, riducendo contemporaneamente le dimensioni dello spazio di riferimento.

Il sistema franoso con ID n. 13990, corrispondente, nell'insieme, ai versanti che contornano il sistema montuoso Alburno Cervati, è stato considerato come *outlyer*, cioè è stato escluso dai calcoli, in quanto corrispondente ad un intero ambito morfologico in cui le aree soggette a crollo non sono state differenziate singolarmente.

5.2.1. Analisi statistica applicata ai sistemi franosi

I Sistemi franosi considerati sono complessivamente n. 18100. I fenomeni interessati da intensità attesa media sono, per estensione areale, quelli che maggiormente interessano l'area di studio, per un totale di 9521 casi, pari al 66,0% (Fig. 5.2, 5.3.).

Intensità Massima Attesa	N.	% del totale
MEDIA	9521	66,0%
ALTA	6039	25,8%
BASSA	2540	8,2%
Totale	18100	100,0%

Fig.5.2: Riepilogo dei casi.

Riepiloghi dei casi
Variabili: area (metri quadri)
% della somma totale

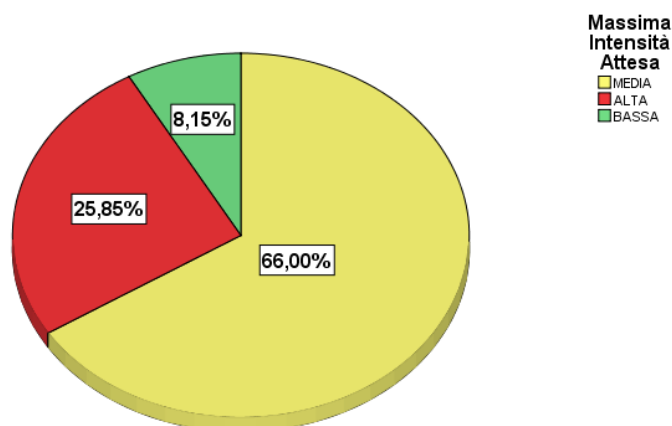


Fig.5.3.Riepiloghi dei casi in rapporto alle aree (esprese in mq) dei sistemi franosi.

La riduzione fattoriale, effettuata con il metodo dell'estrazione dei componenti principali su variabili standardizzate, ha dato i seguenti risultati:

	Media	Dev. Std.	Analisi fattoriale
Area (metri quadri)	68552,05234	179333,06874	18100
Perimetro (metri)	1299,31276	1646,840067	18100
Altezza media (m, s. l. m.)	446,30	246,309	18100
Altezza minima (m, s. l. m.)	399,29	238,555	18100
Altezza massima (m, s. l. m.)	501,97	264,861	18100
Acclività media (in gradi)	15,720	8,5854	18100
Acclività massima (in gradi)	26,738	12,6144	18100
Acclività minima (in gradi)	6,0074	6,74649	18100
Esposizione (gradi, 0-360°)	186,115	104,7695	18100
Dislivello (m)	102,6877	102,01947	18100

Fig.5.4. Statistiche descrittive

	Iniziale	Estrazione
Area (metri quadri)	1,000	1,000
Perimetro (metri)	1,000	1,000
Altezza media (m, s. l. m.)	1,000	1,000
Altezza minima (m, s. l. m.)	1,000	1,000
Altezza massima (m, s. l. m.)	1,000	1,000
Acclività media (in gradi)	1,000	1,000
Acclività massima (in gradi)	1,000	1,000
Acclività minima (in gradi)	1,000	1,000
Esposizione (in gradi, 0-360°)	1,000	1,000
Dislivello (in metri)	1,000	1,000

Fig.5.5. Tabella di Comunalità tra le variabili

5. Metodologia di analisi adottata

Matrice di Correlazione (coeff. Di Pearson)	Area (m ²)	Perimetro (metri)	Altezza media (m, s. l. m.)	Altezza minima (m, s. l. m.)	Altezza massima (m, s. l. m.)	Acclività media (gradi)	Acclività massima (gradi)	Acclività minima (gradi)	Esposizione (0-360°)	Dislivello (metri)
Area (metri quadri)	1,000	,824	,054	-,026	,150	-,078	,134	-,198	-,005	,449
Perimetro (metri)	,824	1,000	,086	-,022	,229	-,066	,212	-,258	-,010	,646
Altezza media (m, s. l. m.)	,054	,086	1,000	,984	,973	,163	,138	,144	-,024	,224
Altezza minima (m, s. l. m.)	-,026	-,022	,984	1,000	,923	,093	,034	,137	-,017	,058
Altezza massima (m, s. l. m.)	,150	,229	,973	,923	1,000	,235	,270	,129	-,031	,438
Acclività media (in gradi)	-,078	-,066	,163	,093	,235	1,000	,851	,737	-,066	,392
Acclività massima (in gradi)	,134	,212	,138	,034	,270	,851	1,000	,422	-,066	,621
Acclività minima (in gradi)	-,198	-,258	,144	,137	,129	,737	,422	1,000	-,047	,016
Esposizione (in gradi, 0-360)	-,005	-,010	-,024	-,017	-,031	-,066	-,066	-,047	1,000	-,042
Dislivello (in metri)	,449	,646	,224	,058	,438	,392	,621	,016	-,042	1,000

Fig. 5.6. Matrice di correlazione tra le variabili.

Componente	Autovalori iniziali			Pesi dei fattori non ruotati		
	Totale	% di varianza	% cumulata	Totale	% di varianza	% cumulata
1	3,473	34,727	34,727	3,473	34,727	34,727
2	2,309	23,087	57,813	2,309	23,087	57,813
3	2,197	21,966	79,779	2,197	21,966	79,779
4	,992	9,922	89,701	,992	9,922	89,701
5	,591	5,911	95,611	,591	5,911	95,611
6	,262	2,616	98,227	,262	2,616	98,227
7	,121	1,214	99,441	,121	1,214	99,441
8	,054	,540	99,981	,054	,540	99,981
9	,002	,019	100,000	,002	,019	100,000
10	-8,402E-16	-8,402E-15	100,000	8,402E-16	8,402E-15	100,000

Fig.5.7. Varianza totale spiegata relativa ai sistemi franosi.

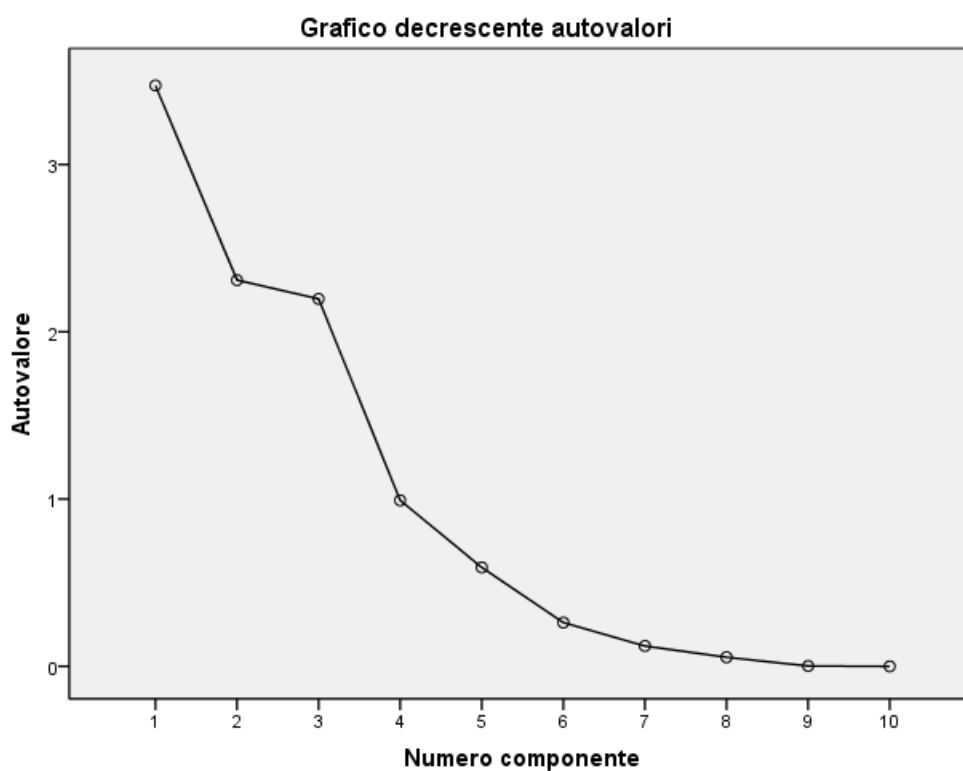


Fig.5.8. Grafico degli autovalori.

5.2.1. Scelta delle componenti per i sistemi franosi

La scelta delle componenti principali può essere eseguita mediante tre criteri:

- criterio 1: si considerano tutti i gli autovalori maggiori di 1 (regola di Kaiser, Guttman, 1954).
- criterio 2: si considerano le componenti che spiegano il 70-80% della variabilità.
- criterio 3: si individua, sul grafico decrescente degli autovalori, il punto di variazione della curva.

Applicando i tre criteri alla tabella di varianza totale ed al grafico decrescente degli autovalori, si evince che il numero delle componenti principali significative che spiegano circa l'80% della varianza totale sono tre.

variabile	Componente		
	1	2	3
Area (metri quadri)	0,296	0,805	-0,16
Perimetro (metri)	0,375	0,861	-0,151
Altezza media (sul livello del mare, in metri)	0,81	-0,337	-0,477
Altezza minima (sul livello del mare, in metri)	0,716	-0,442	-0,53
Altezza massima (sul livello del mare, in metri)	0,896	-0,18	-0,396
Acclività media (in gradi)	0,572	-0,19	0,77
Acclività massima (in gradi)	0,624	0,139	0,676
Acclività minima (in gradi)	0,353	-0,448	0,617
esposizione (in gradi, range 0-360)	-0,076	0,008	-0,082
dislivello (in metri)	0,652	0,568	0,213

Fig.5.9. Matrice di componenti-sistemi franosi. In grassetto i valori maggiori per ogni variabile.

La variabilità delle componenti, rispetto ai 18100 casi censiti è la seguente:

$$- 4,16 \leq \text{componente 1} \leq 14,79$$

$$- 5,05 \leq \text{componente 2} \leq 39,88$$

$$- 7,26 \leq \text{componente 3} \leq 8,62$$

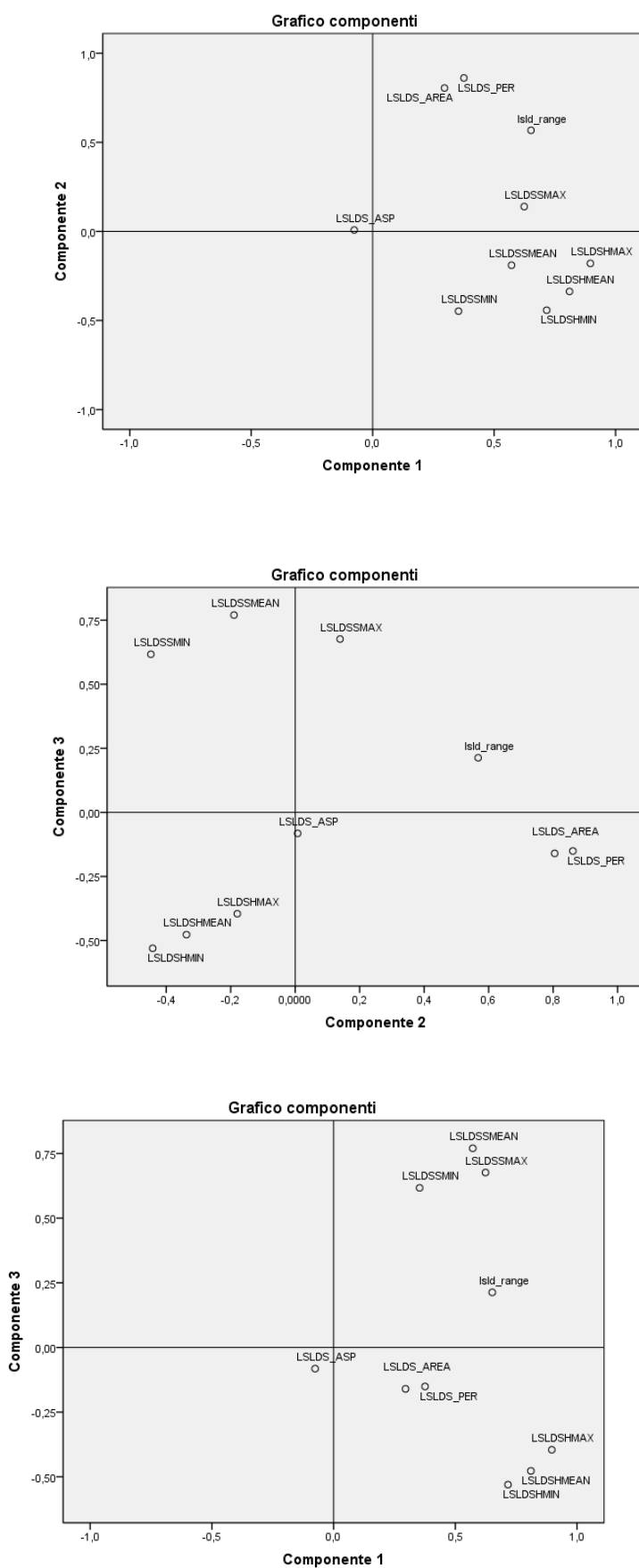
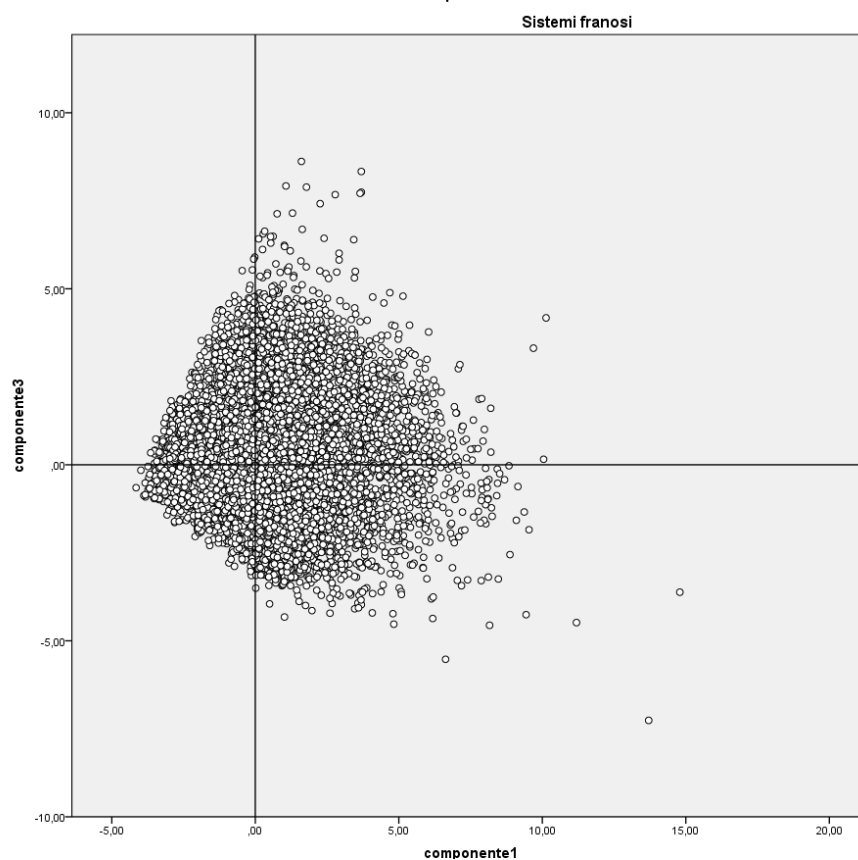
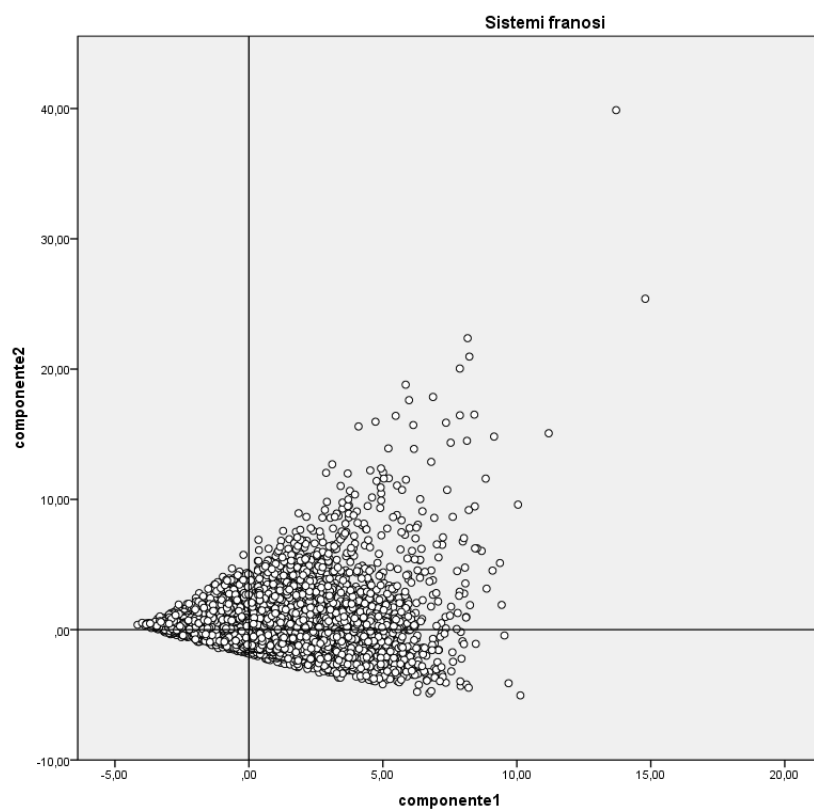


Fig.5.10-11-12. Grafici che rappresentano i coefficienti di correlazione (component loadings) tra le variabili osservate e le tre componenti principali.



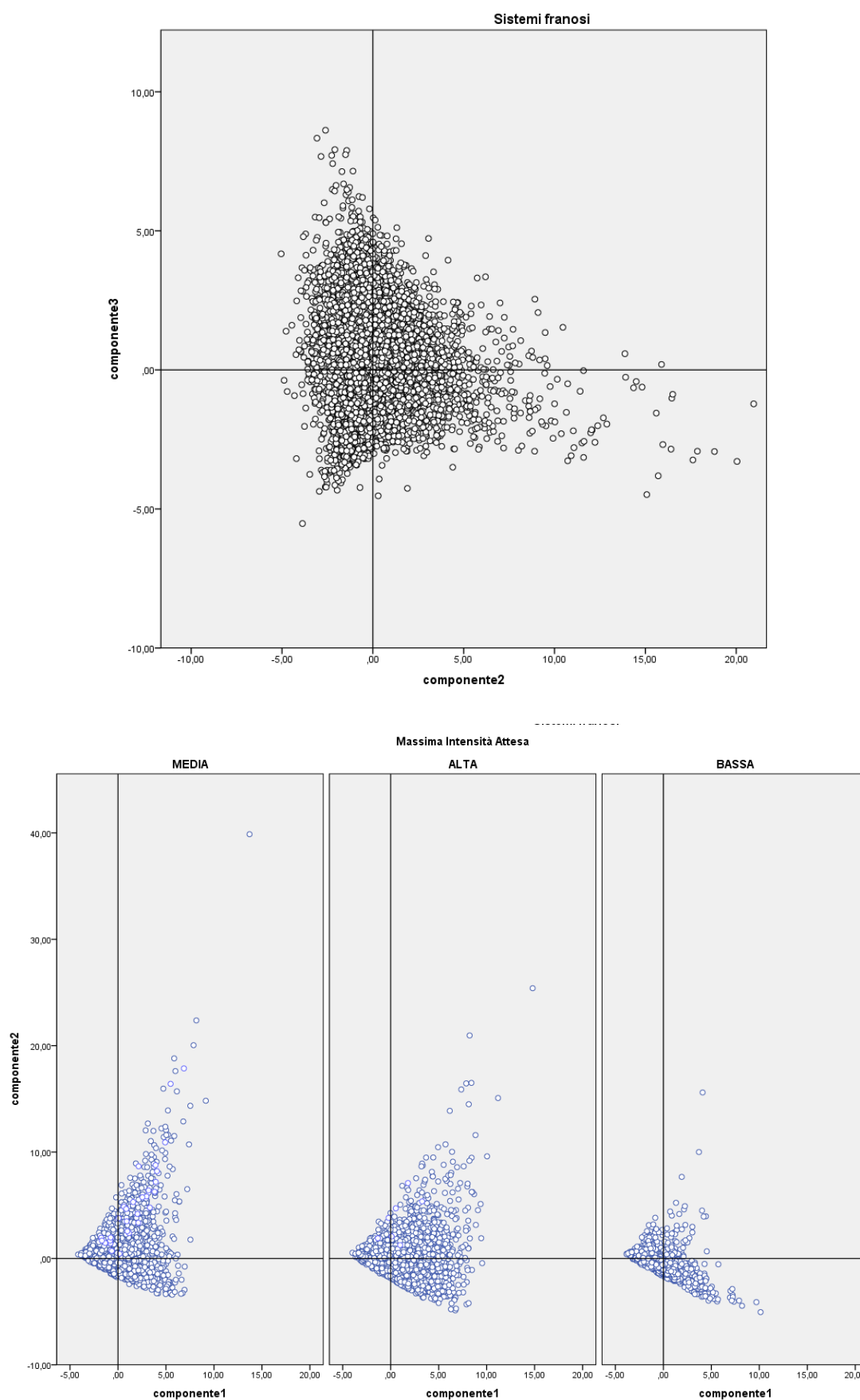


Fig. 5.13-14-15-16. Distribuzione dei sistemi franosi rispetto alle component principali. Lo zero corrisponde alla media calcolata.

5.2.2. PCA applicata all'insieme dei sistemi franosi e rispettivi settori idrografici

Su un totale di 162 settori idrografici, quelli interessati da fenomeni franosi, a scala regionale, sono 133. I Sistemi franosi sono stati accorpati come unico poligono in base al relativo settore idrografico. La PCA ha dato i seguenti risultati:

Variabili	Media	Deviazione std.	Analisi fattoriale N
area frana	9178088,09	9835366,8	133
perimetro frana	161516,12	165308,08	133
altezza media frana	445,05	212,699	133
acclività media frana	15,599	5,8014	133
acclività max frana	54,032	14,2673	133
acclività minima frana	,474	2,6403	133
dislivello frana	802,91	420,946	133
altezza massima frana	986,16	415,662	133
altezza minima frana	183,25	179,397	133
area bacino	1,02297E8	82747262	133
altezza max bacino	1191,20	434,895	133
altezza media bacino	445,75	244,963	133
altezza minima bacino	149,19	167,293	133
perimetro bacino	68583,96312	29997,16	133
dislivello bacino	1042,01	421,350	133
acclività max bacino	61,130	11,6349	133
acclività media bacino	12,327	5,0627	133

Fig.5.17.Statistiche descrittive

5. Metodologia di analisi adottata

	area frana	perimetro frana)	altezza media frana	acclività media frana	acclività massima frana	acclività minima frana	dislivello frana	altezza massima frana	altezza minima frana	area bacino	altezza massima bacino	altezza media bacino	altezza minima bacino	perimetro bacino	dislivello bacino	acclività massima bacino	acclività media bacino
area frana	1,000	,901	,216	-,200	,304	-,166	,415	,394	-,061	,335	,254	,239	,029	,363	,251	,146	,086
perimetro frana)	,901	1,000	,148	-,130	,342	-,171	,453	,404	-,126	,435	,269	,175	-,039	,496	,293	,231	,162
altezza media frana	,216	,148	1,000	,157	,199	-,035	,319	,658	,778	,207	,640	,877	,754	,263	,361	,303	,353
acclività media frana	-,200	-,130	,157	1,000	,541	,336	,317	,290	-,070	,084	,239	,003	-,166	,088	,313	,579	,556
acclività massima frana	,304	,342	,199	,541	1,000	-,187	,781	,694	-,223	,358	,625	,214	-,138	,414	,700	,830	,523
acclività minima frana	-,166	-,171	-,035	,336	-,187	1,000	-,274	-,210	,157	-,163	-,206	-,160	-,093	-,221	-,175	-,027	,089
dislivello frana	,415	,453	,319	,317	,781	-,274	1,000	,908	-,242	,344	,779	,299	-,145	,400	,862	,692	,468
altezza massima frana	,394	,404	,658	,290	,694	-,210	,908	1,000	,186	,342	,889	,607	,241	,412	,822	,678	,513
altezza minima frana	-,061	-,126	,778	-,070	-,223	,157	-,242	,186	1,000	-,016	,233	,704	,900	,014	-,117	-,052	,091
area bacino	,335	,435	,207	,084	,358	-,163	,344	,342	-,016	1,000	,331	,116	,001	,889	,341	,334	-,083
altezza massima bacino	,254	,269	,640	,239	,625	-,206	,779	,889	,233	,331	1,000	,687	,272	,428	,924	,712	,577
altezza media bacino	,239	,175	,877	,003	,214	-,160	,299	,607	,704	,116	,687	1,000	,771	,205	,403	,280	,479
altezza minima bacino	,029	-,039	,754	-,166	-,138	-,093	-,145	,241	,900	,001	,272	,771	1,000	,021	-,116	-,087	,065
perimetro bacino	,363	,496	,263	,088	,414	-,221	,400	,412	,014	,889	,428	,205	,021	1,000	,433	,399	,004
dislivello bacino	,251	,293	,361	,313	,700	-,175	,862	,822	-,117	,341	,924	,403	-,116	,433	1,000	,769	,570
acclività massima bacino	,146	,231	,303	,579	,830	-,027	,692	,678	-,052	,334	,712	,280	-,087	,399	,769	1,000	,580
acclività media bacino	,086	,162	,353	,556	,523	,089	,468	,513	,091	-,083	,577	,479	,065	,004	,570	,580	1,000

Fig.5.18. Matrice di correlazione tra le variabili.

	Iniziale	Estrazione
area frana	1,000	1,000
perimetro frana)	1,000	1,000
altezza media frana	1,000	1,000
acclività media frana	1,000	1,000
acclività massima frana	1,000	1,000
acclività minima frana	1,000	1,000
dislivello frana	1,000	1,000
altezza massima frana	1,000	1,000
altezza minima frana	1,000	1,000
area bacino	1,000	1,000
altezza massima bacino	1,000	1,000
altezza media bacino	1,000	1,000
altezza minima bacino	1,000	1,000
perimetro bacino	1,000	1,000
dislivello bacino	1,000	1,000
acclività massima bacino	1,000	1,000
acclività media bacino	1,000	1,000

Tab 5.19. Comunalità tra le variabili

Componente	Autovalori iniziali			Pesi dei fattori non ruotati		
	Totale	% di varianza	% cumulata	Totale	% di varianza	% cumulata
1	6,893	40,546	40,546	6,893	40,546	40,546
2	3,348	19,692	60,238	3,348	19,692	60,238
3	2,406	14,153	74,390	2,406	14,153	74,390
4	1,300	7,646	82,037	1,300	7,646	82,037
5	1,146	6,740	88,777	1,146	6,740	88,777
6	,581	3,417	92,193	,581	3,417	92,193
7	,428	2,520	94,713	,428	2,520	94,713
8	,299	1,757	96,470	,299	1,757	96,470
9	,157	,926	97,396	,157	,926	97,396
10	,130	,762	98,158	,130	,762	98,158
11	,104	,612	98,771	,104	,612	98,771
12	,081	,476	99,247	,081	,476	99,247
13	,067	,393	99,640	,067	,393	99,640
14	,037	,219	99,860	,037	,219	99,860
15	,024	,140	100,000	,024	,140	100,000
16	1,223E-16	7,197E-16	100,000	1,223E-16	7,197E-16	100,000
17	-1,402E-16	-8,246E-16	100,000	1,402E-16	8,246E-16	100,000

Tab 5.20. Varianza totale spiegata

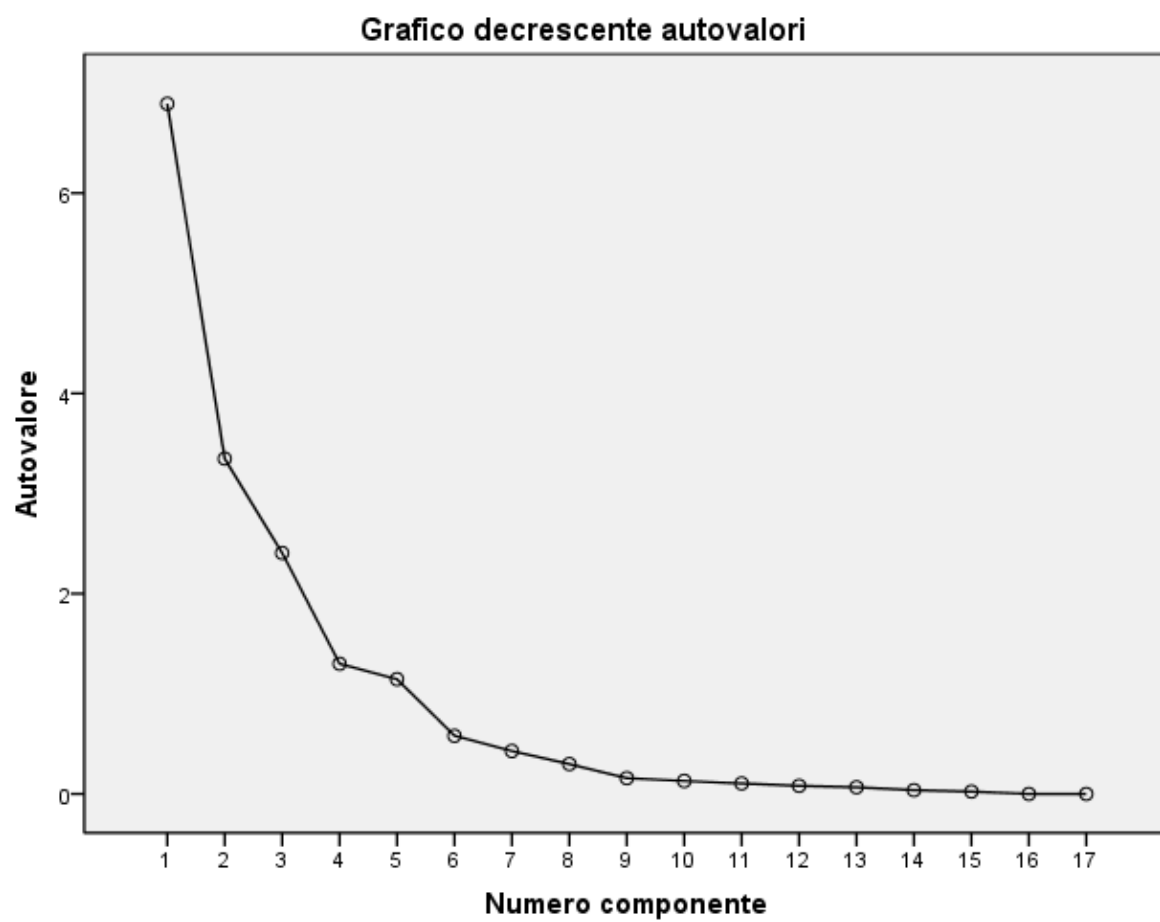


Fig.5.21. Grafico decrescente degli autovalori

5.2.3. Scelta delle componenti principali

I primi 3 valori spiegano circa il 75% della varianza totale pertanto sono state scelte tre componenti principali ed estratte dalla matrice dei componenti:

	1	2	3
area frana	,449	-,117	-,641
perimetro frana)	,490	-,219	-,633
altezza media frana	,630	,716	,001
acclività media frana	,372	-,225	,673
acclività massima frana	,788	-,385	,178
acclività minima frana	-,211	,060	,422
dislivello frana	,861	-,331	,021
altezza massima frana	,936	,070	,028
altezza minima frana	,149	,941	,016
area bacino	,484	-,188	-,507
altezza massima bacino	,921	,136	,107
altezza media bacino	,629	,715	-,019
altezza minima bacino	,198	,927	-,113
perimetro bacino	,571	-,166	-,497
dislivello bacino	,872	-,228	,155
acclività massima bacino	,797	-,257	,324
acclività media bacino	,612	,030	,523

Fig. 5.21. matrice delle prime tre componenti principali

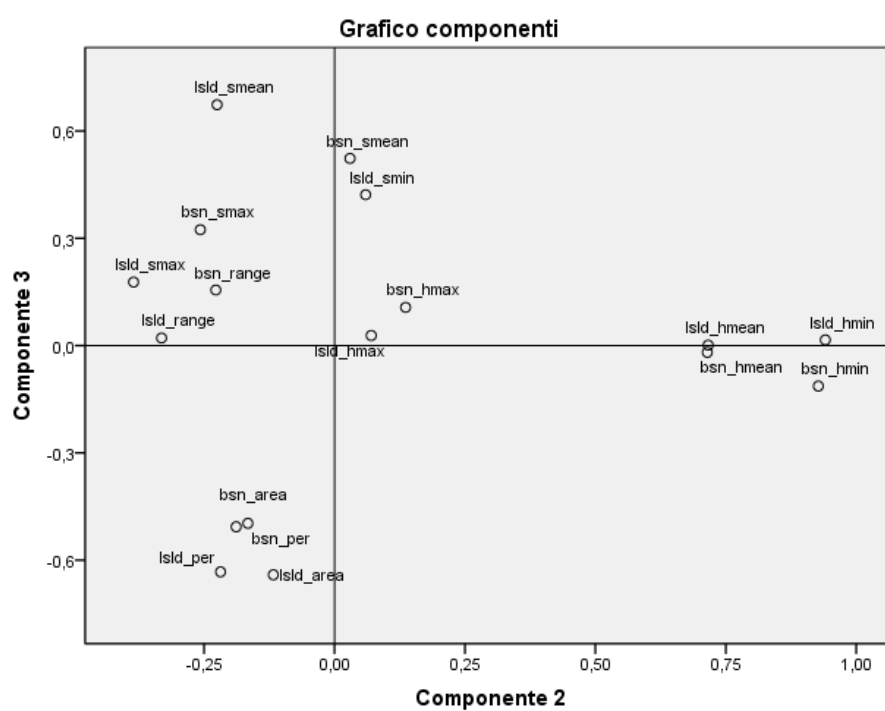
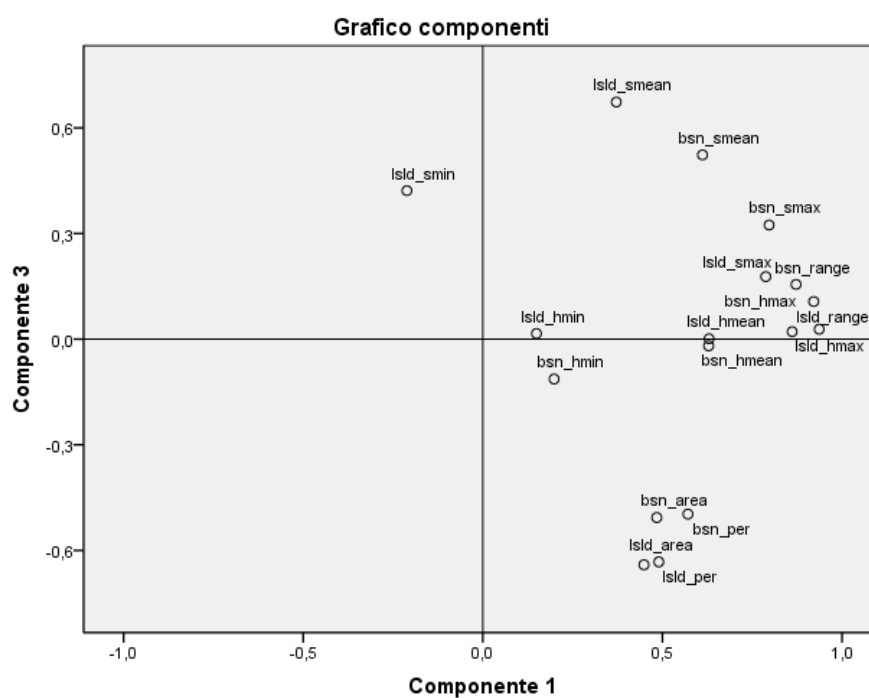
La variabilità, su 133 settori, cioè quelli interessati a frane, è la seguente:

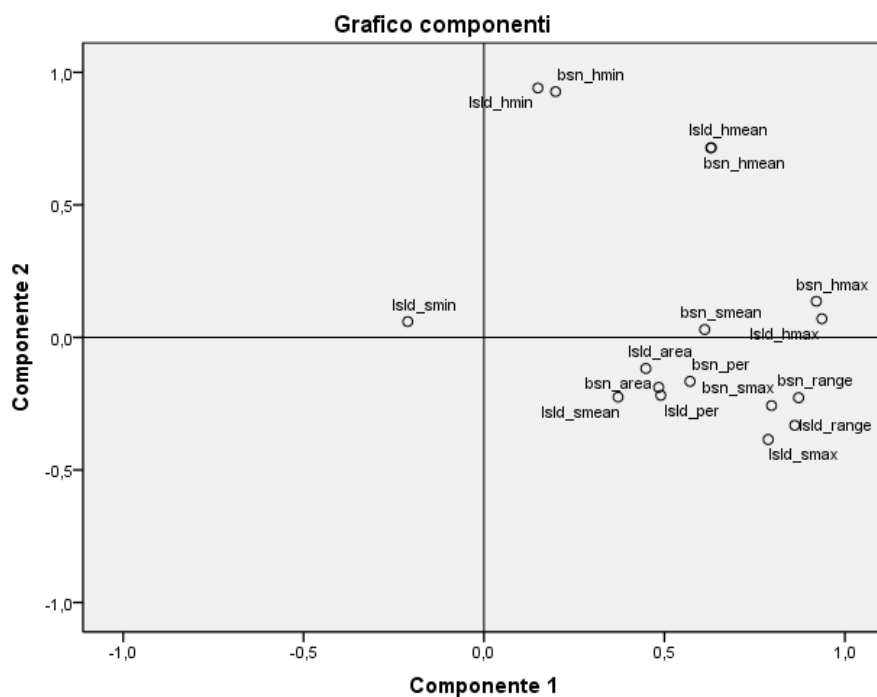
$$- 6,54 \leq \text{componente 1} \leq 4,82$$

$$- 3,20 \leq \text{componente 2} \leq 7,90$$

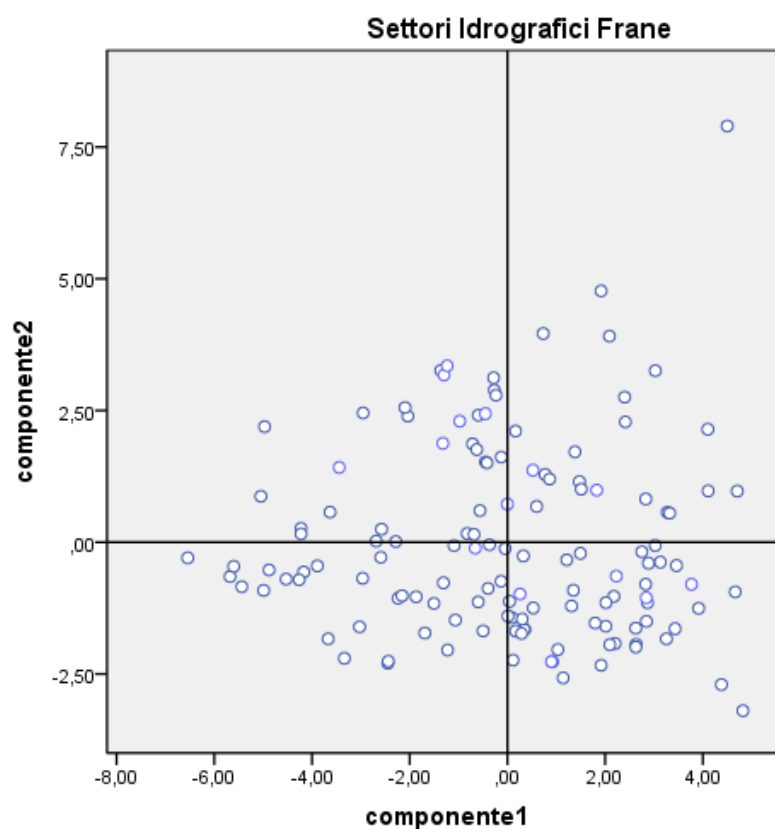
$$- 6,20 \leq \text{componente 3} \leq 5,66$$

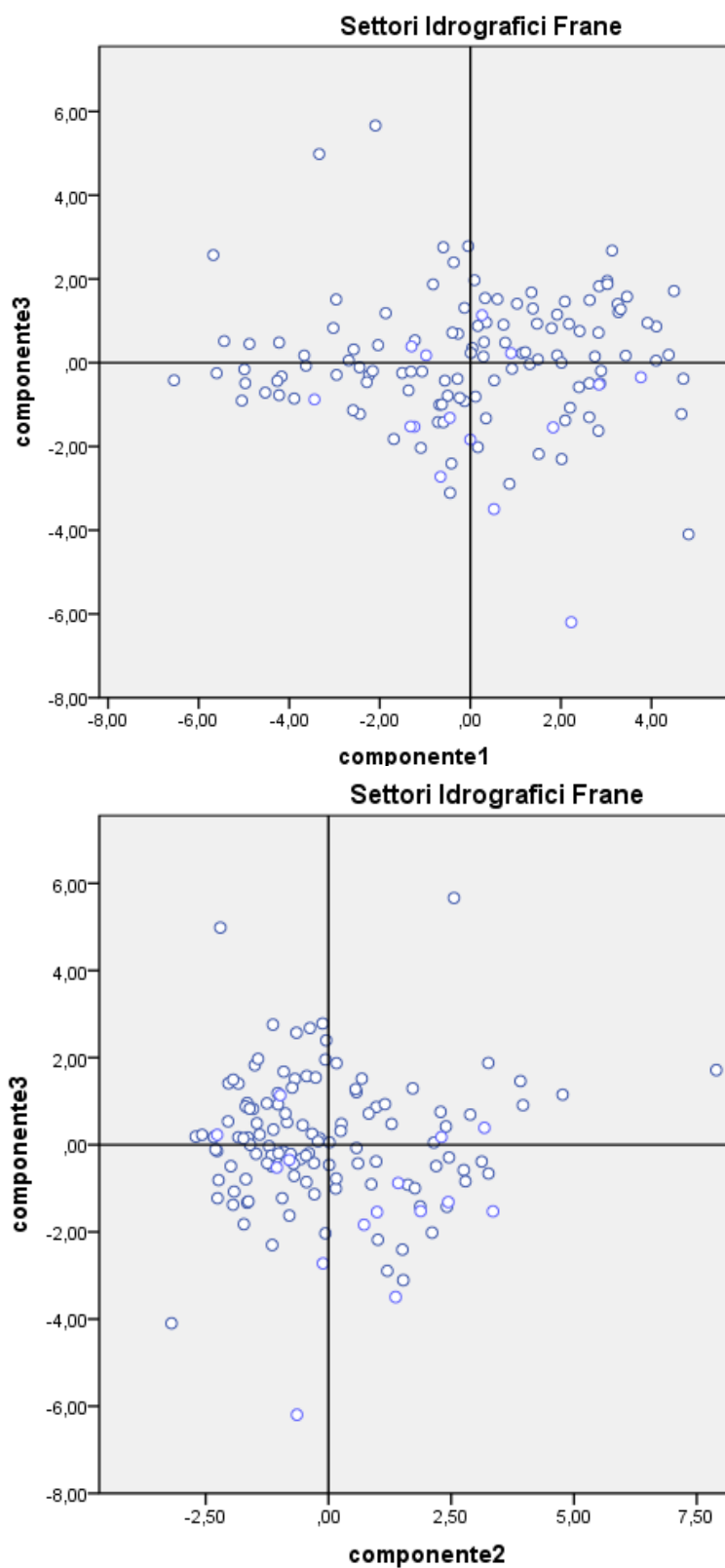
Di seguito si riportano i grafici di correlazione derivati dall'analisi.





5.22 -23-24. Coefficienti di correlazione tra variabili osservate e tre componenti principali.





5.25-26-27. Grafici di correlazione tra le component principali su 133 settori idrografici.

5.3. Analisi a livello locale (Training area analysis)

Il numero di Landslide Dam individuate è stato ulteriormente ridotto in fase di analisi, con l'esclusione degli sbarramenti dovuti esclusivamente a conoidi detritico alluvionali (ID 1,13,19), dato il numero limitato per essere statisticamente significativo.

In considerazione del numero ridotto di casi di studio, si è ritenuto opportuno eseguire delle correlazioni semplici tra le variabili secondo delle rette di regressione (Korup 2004, 2005), che hanno consentito di calcolare il coefficiente di determinazione R^2 indice della correlazione tra le variabili.

5.2.1. Correlazioni tra le frane e gli ambiti morfologici sottesi

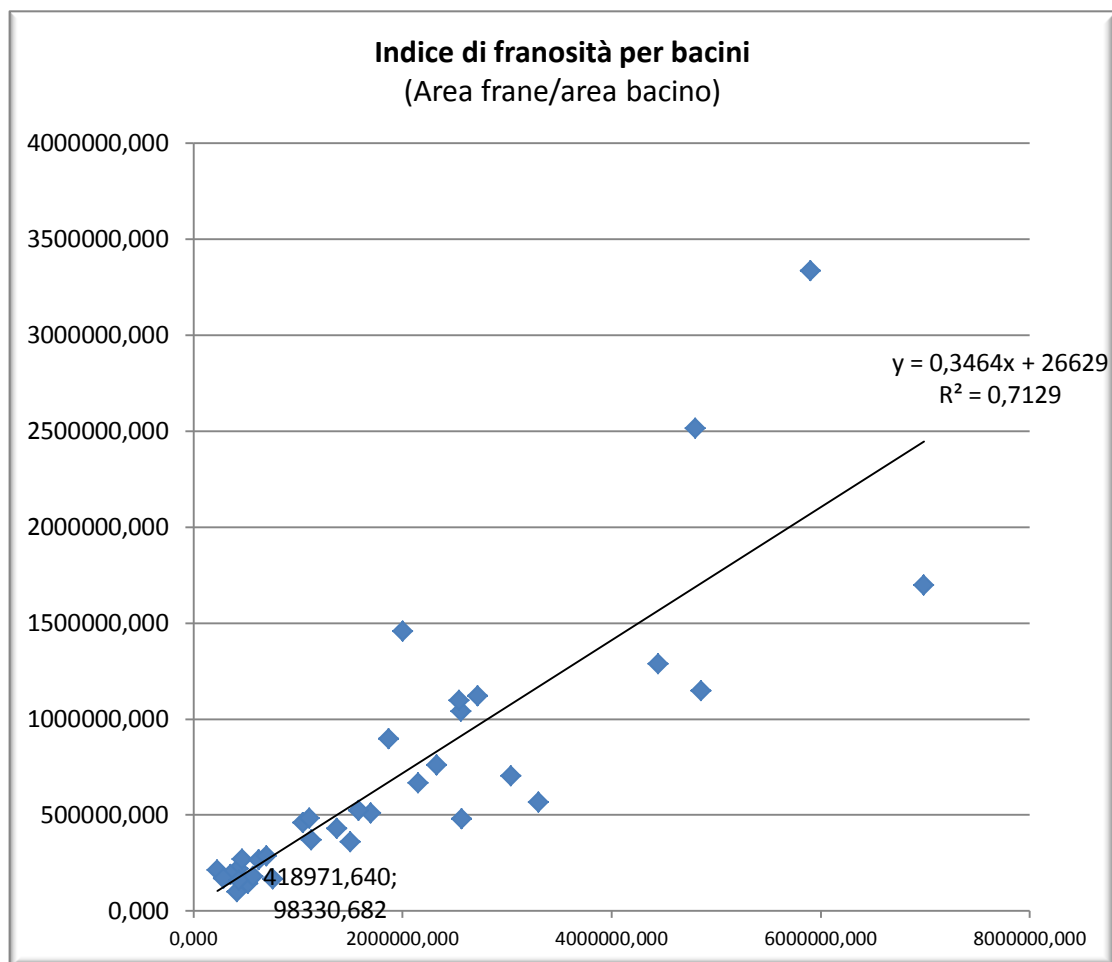


Fig.5.28. Correlazione lineare tra area del sistema franoso e area del bacino sotteso.

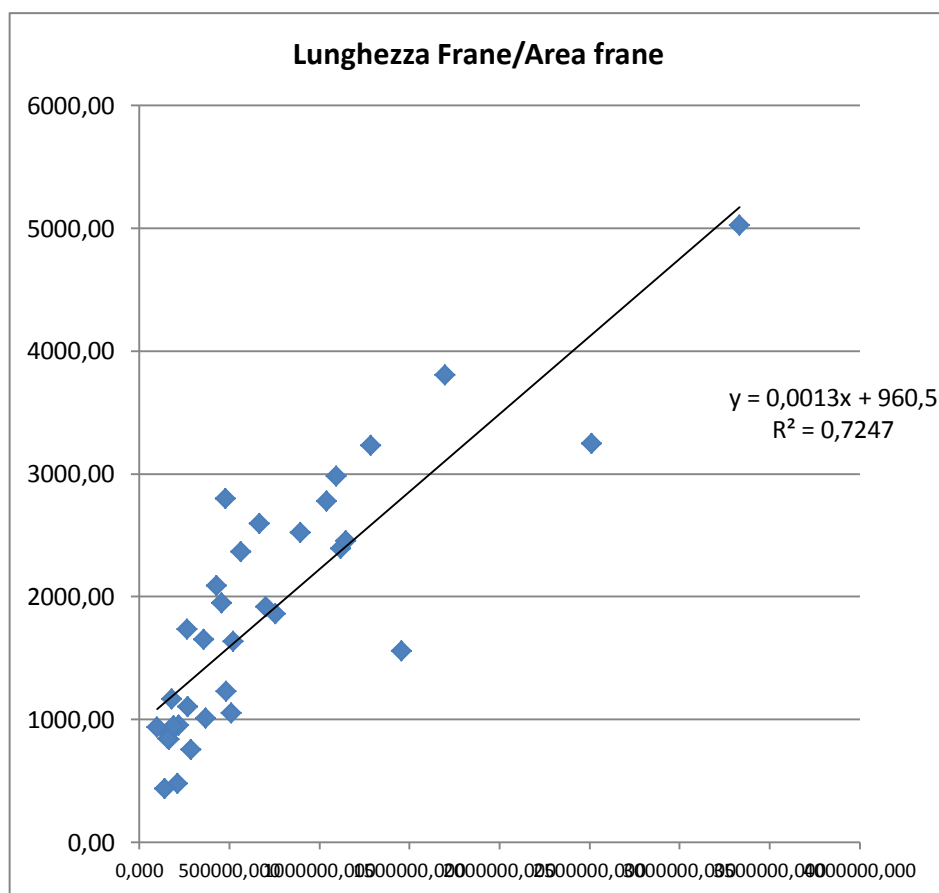


Fig.5.29. Correlazione lineare tra l'estensione longitudinale e l'area del sistema franoso

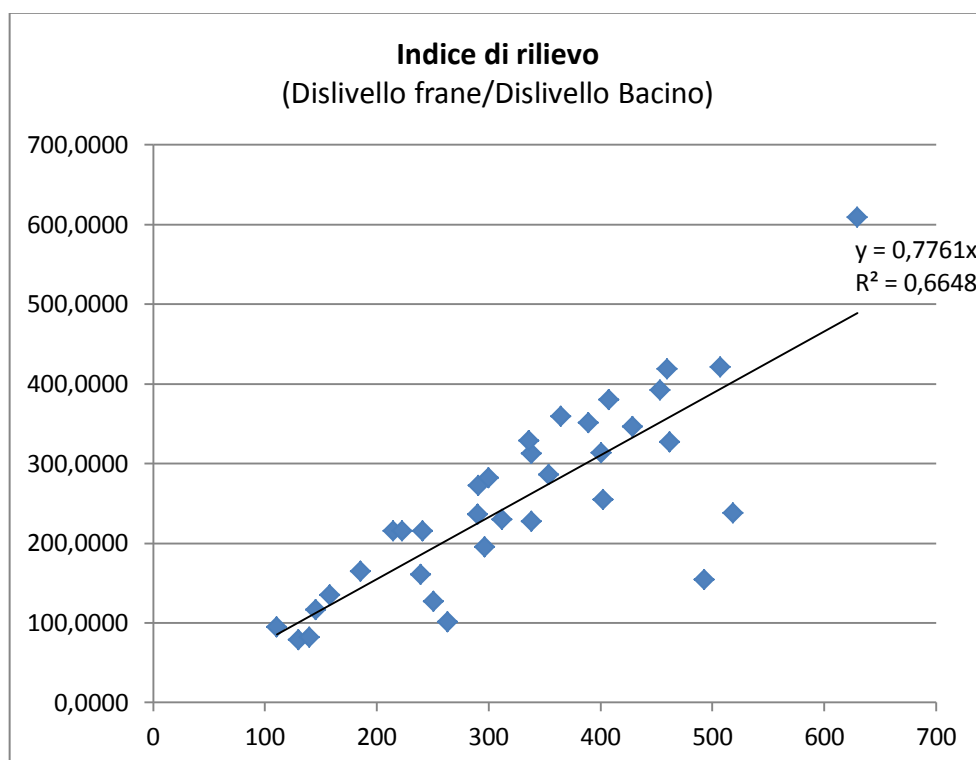


Fig.5.30. Indice di rilievo: correlazione tra dislivello frane e dislivello del bacino sotteso

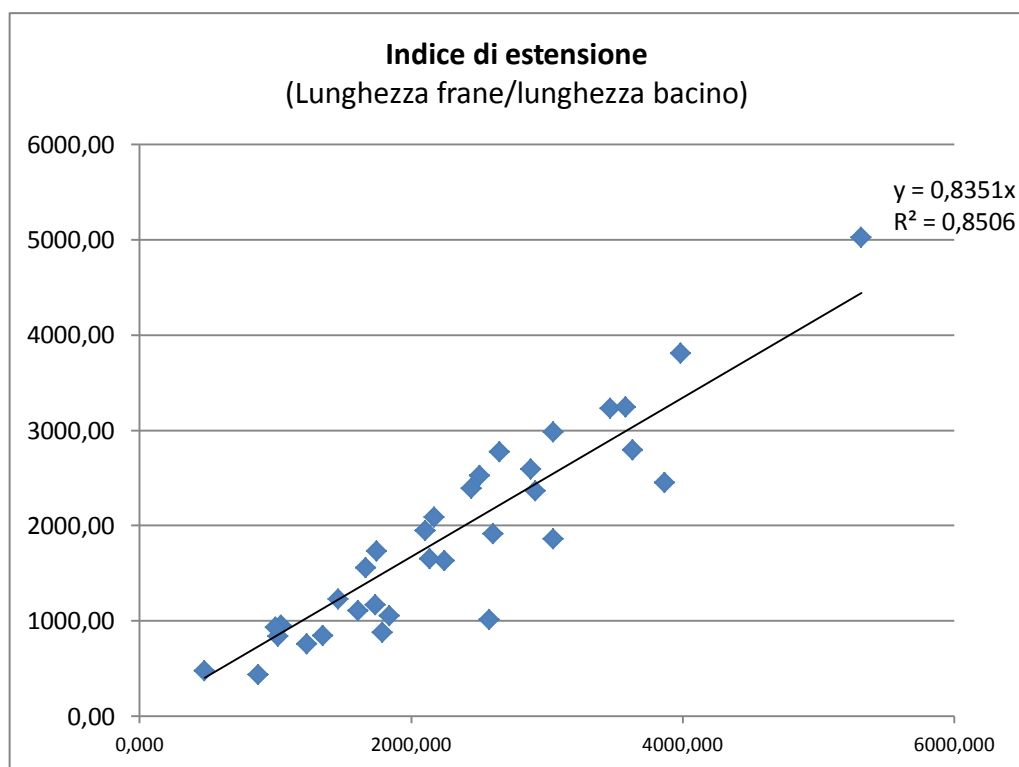


Fig.5.31. *Indice di estensione: correlazione lineare tra lunghezza dei sistemi franosi e lunghezza dei bacini sottesi*

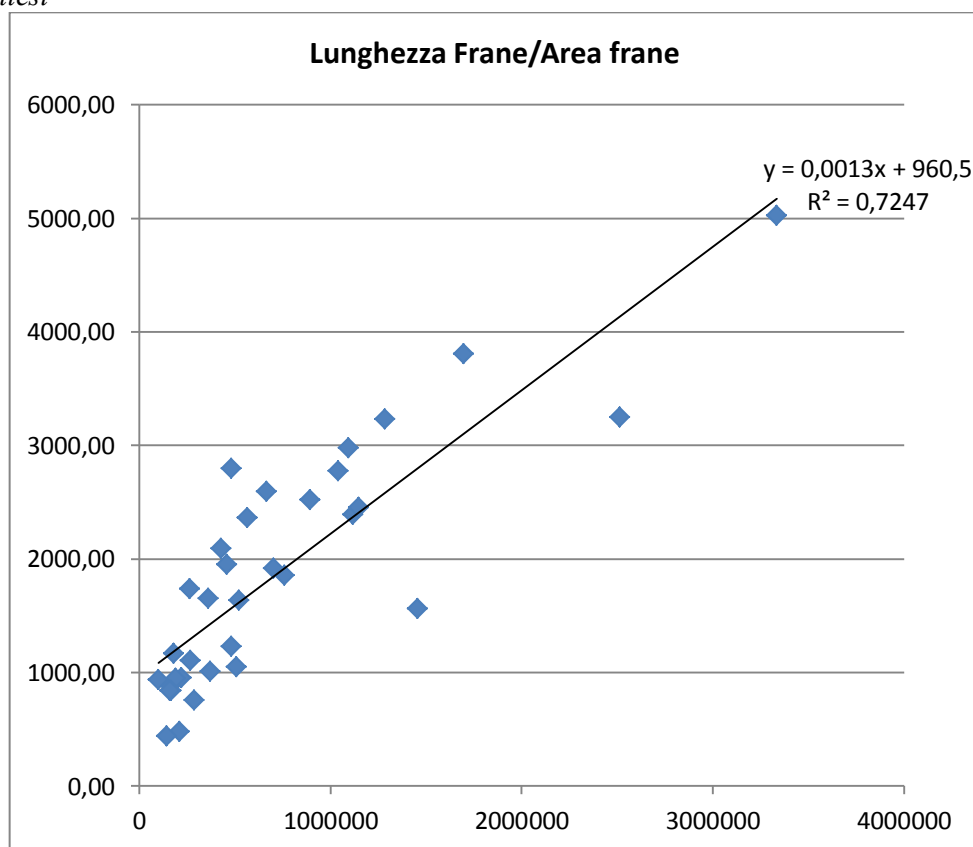


Fig.5.32. *Correlazione lineare tra lunghezza e l'area delle frane.*

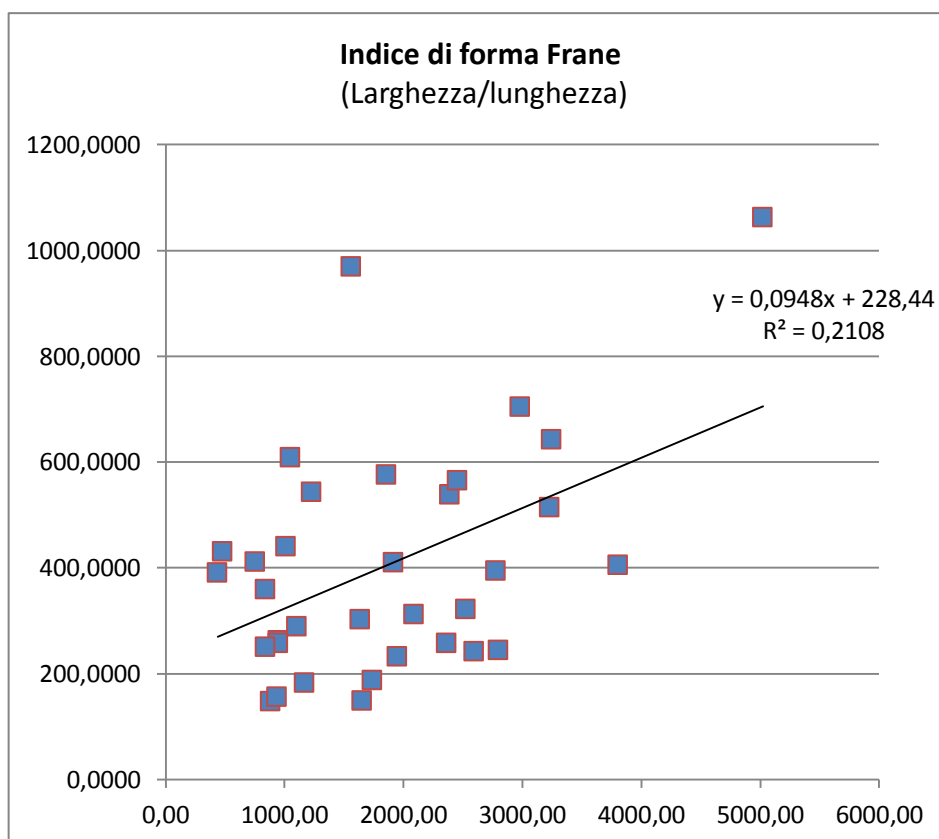


Fig.5.33. Indice di forma: Correlazione lineare tra area bacino ed area della relativa frana

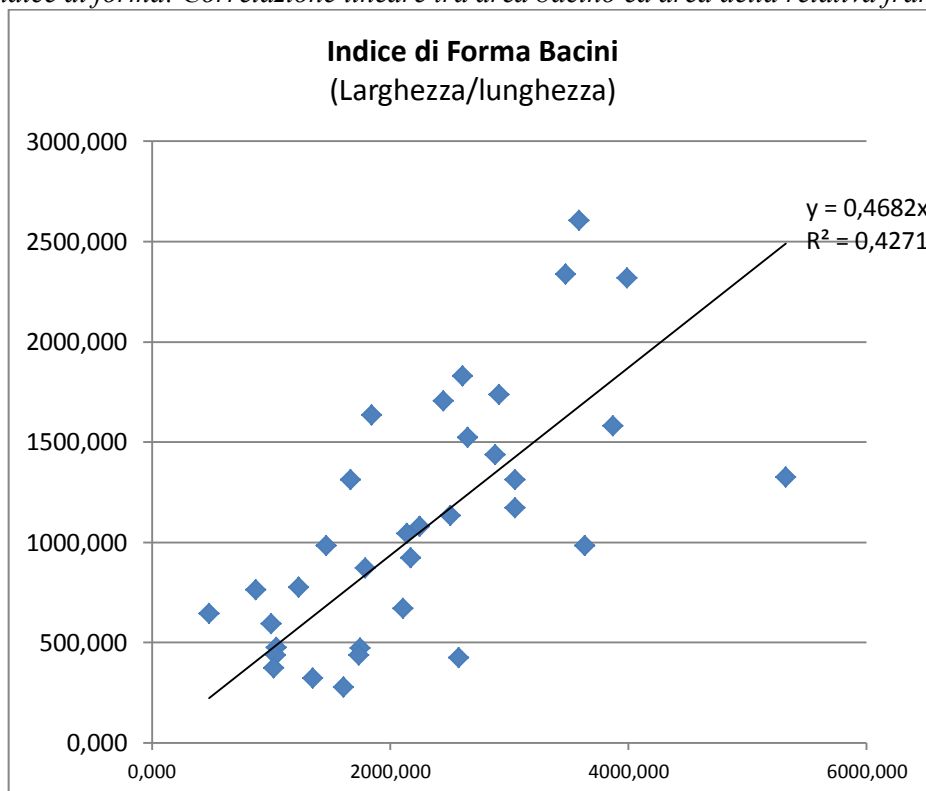


Fig.5.34. Indice di forma: Correlazione lineare tra area bacino ed area sistema franoso.

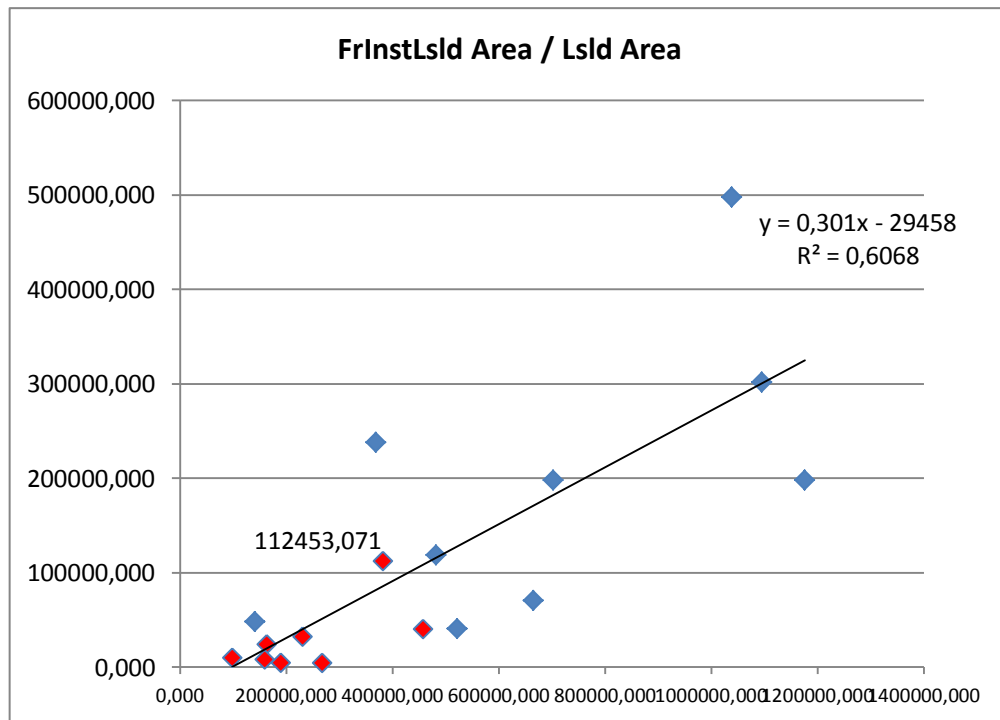


Fig. 5.35. Correlazione tra area del versante opposto instabile e l'area del sistema franoso. Sono stati evidenziati in rosso i casi la cui instabilità è dovuta a fenomeni di erosione.

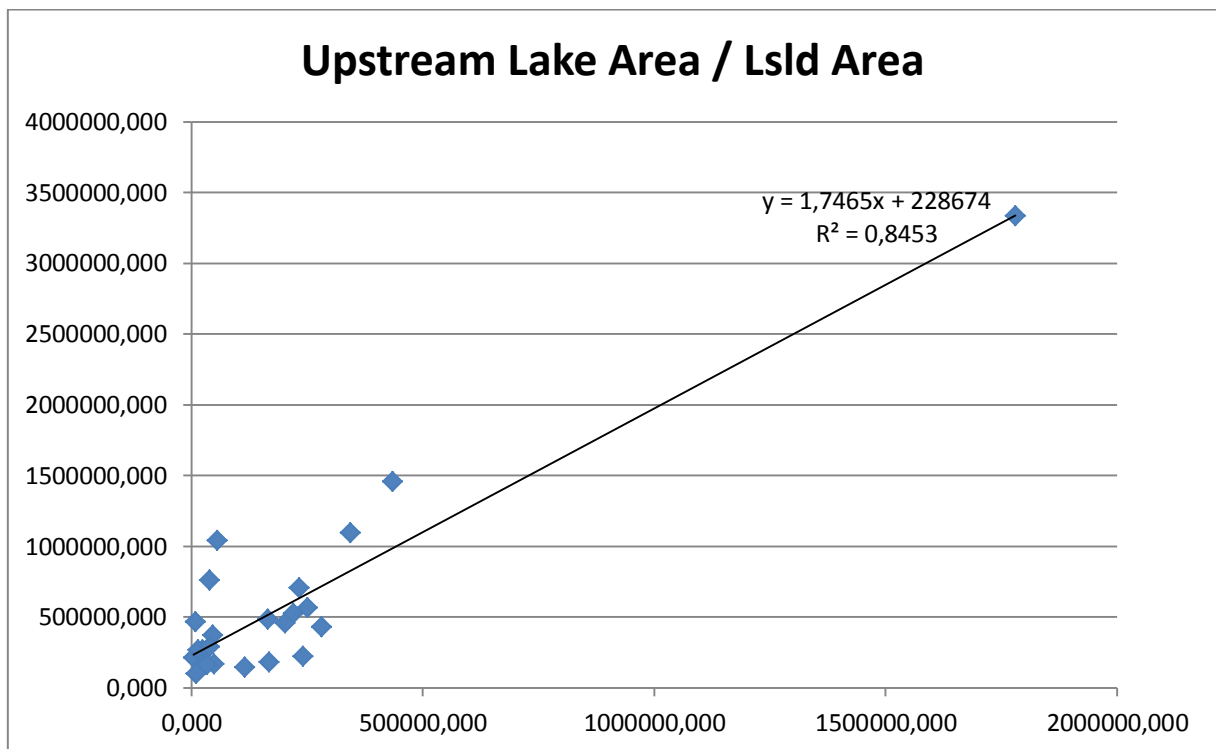


Fig. 5.36. Correlazione tra l'area del lago e l'area del sistema franoso di sbarramento.

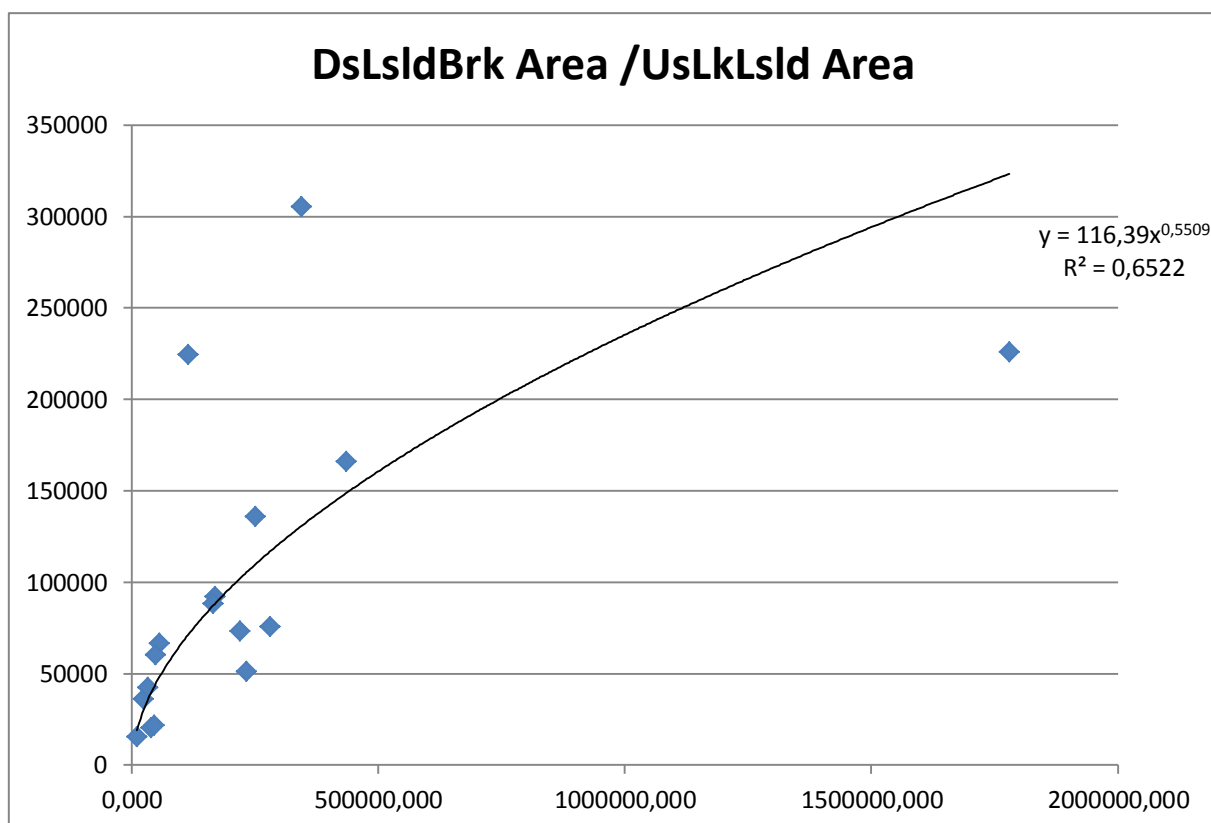


Fig.5.36. Correlazione tra l'area dell'outburst e l'area del lago relativo.

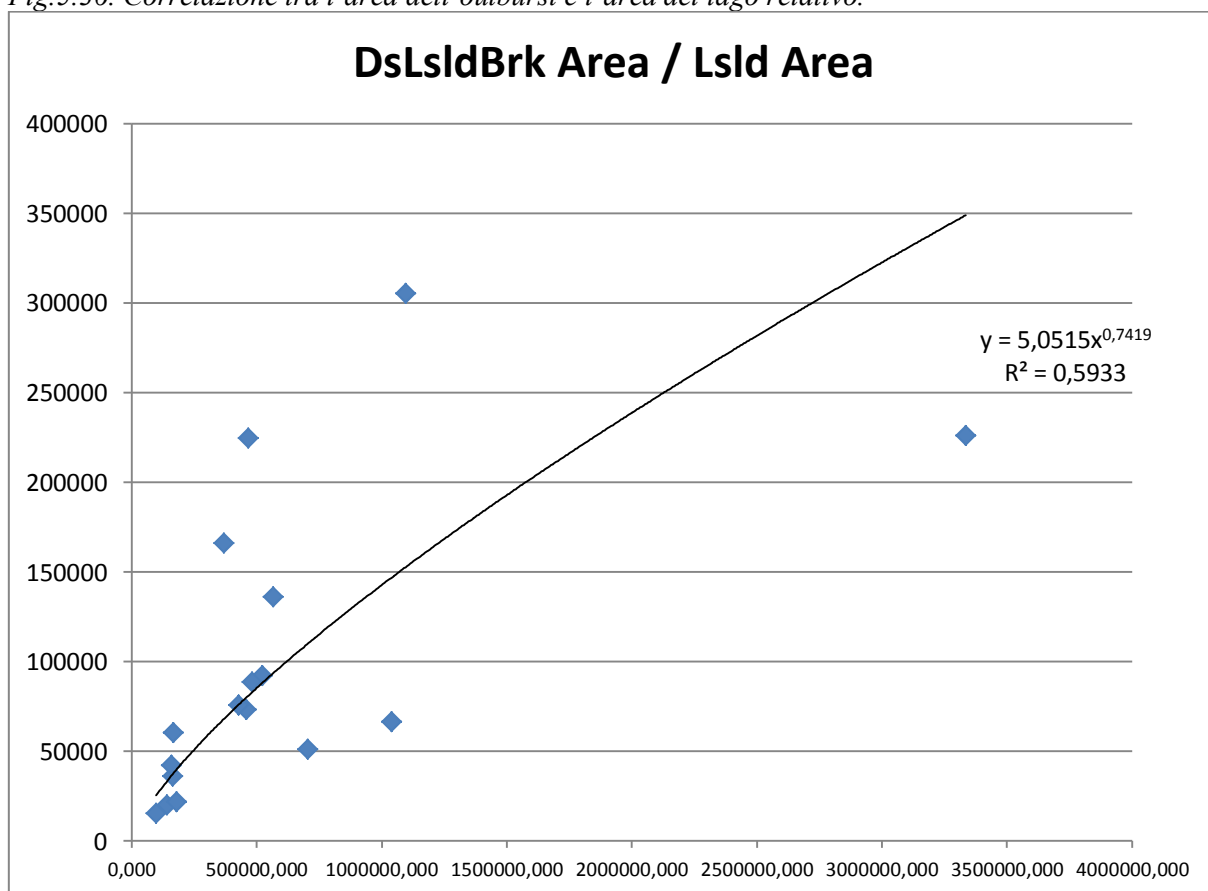
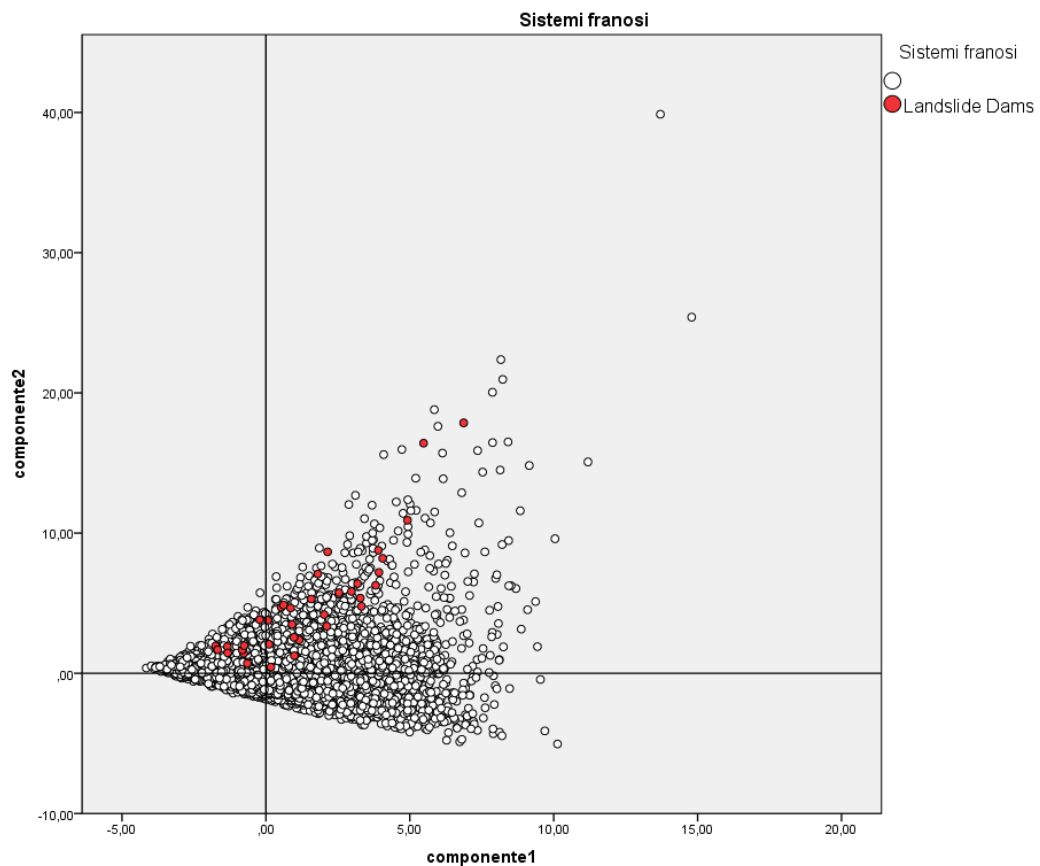


Fig.5.37. Correlazione tra l'area dell'outburst e l'area del sistema franoso relativo

5.4. Analisi comparativa (Training-target analysis)

Al fine di pervenire ad una correlazione tra casi campione e intera popolazione, in prima analisi, le componenti principali relativi ai sistemi franosi ed all'insieme dei sistemi franosi e settori idrografici sono stati proiettati sugli assi fattoriali di cui si ricorda che lo zero corrisponde alla media, evidenziando i casi relativi alle 40 *landslide dams* individuate :



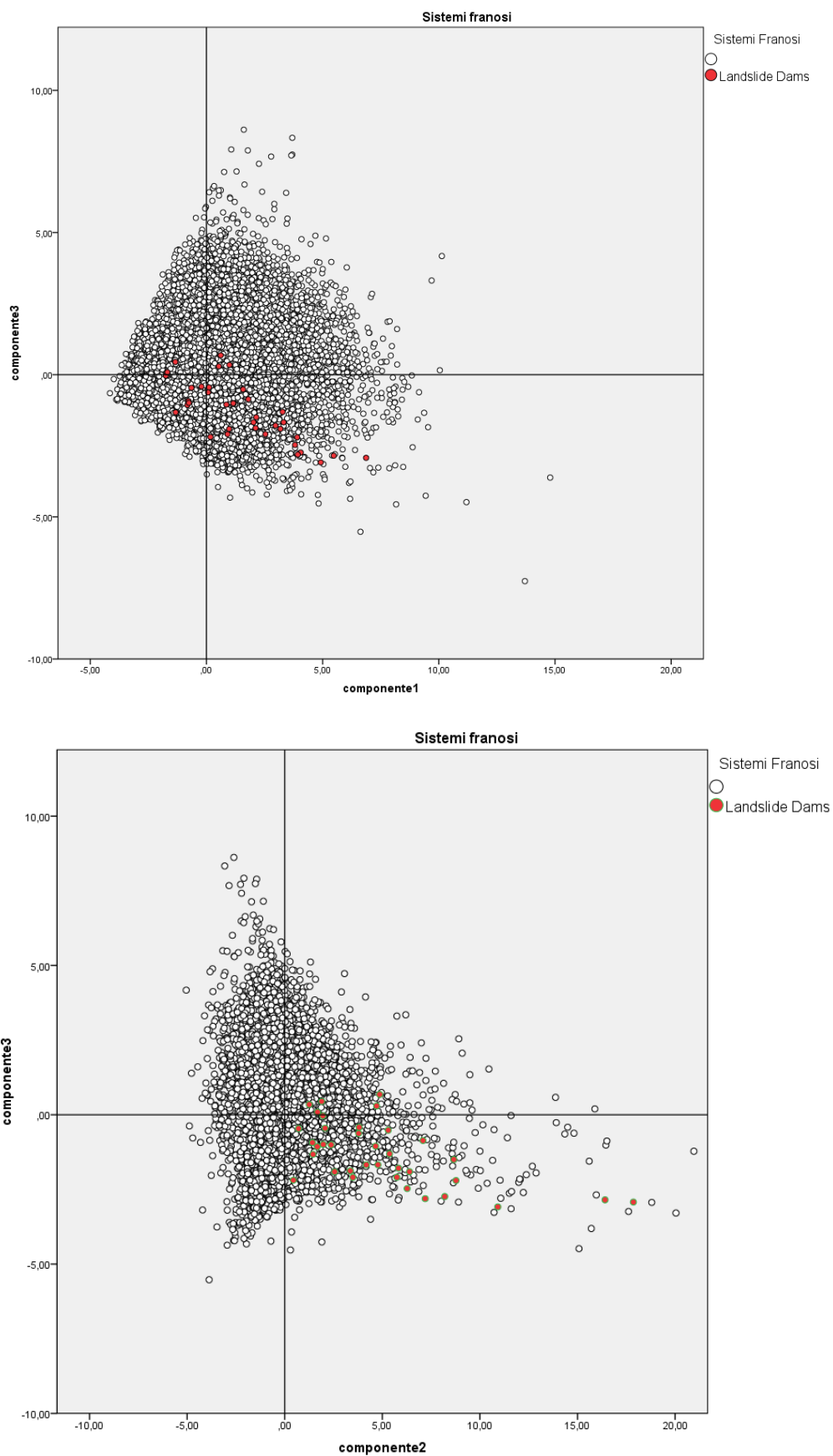
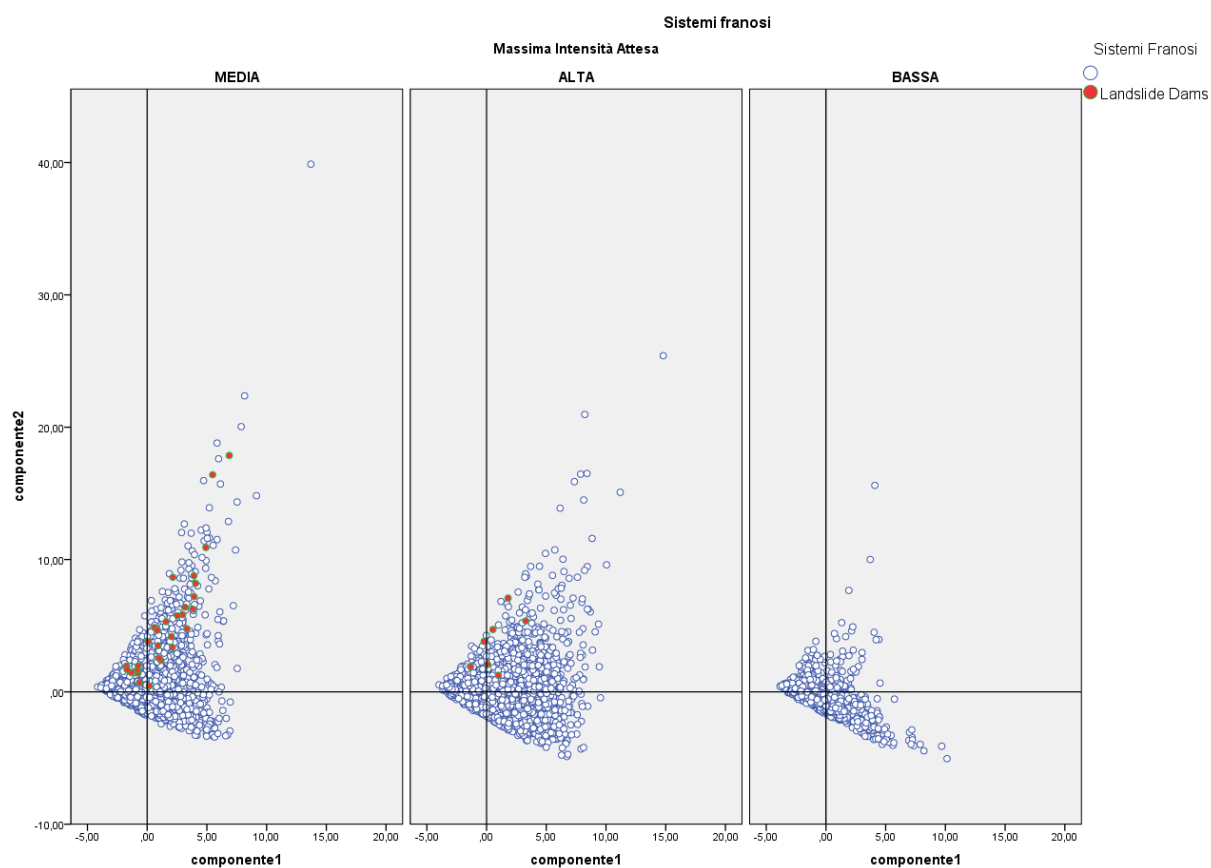
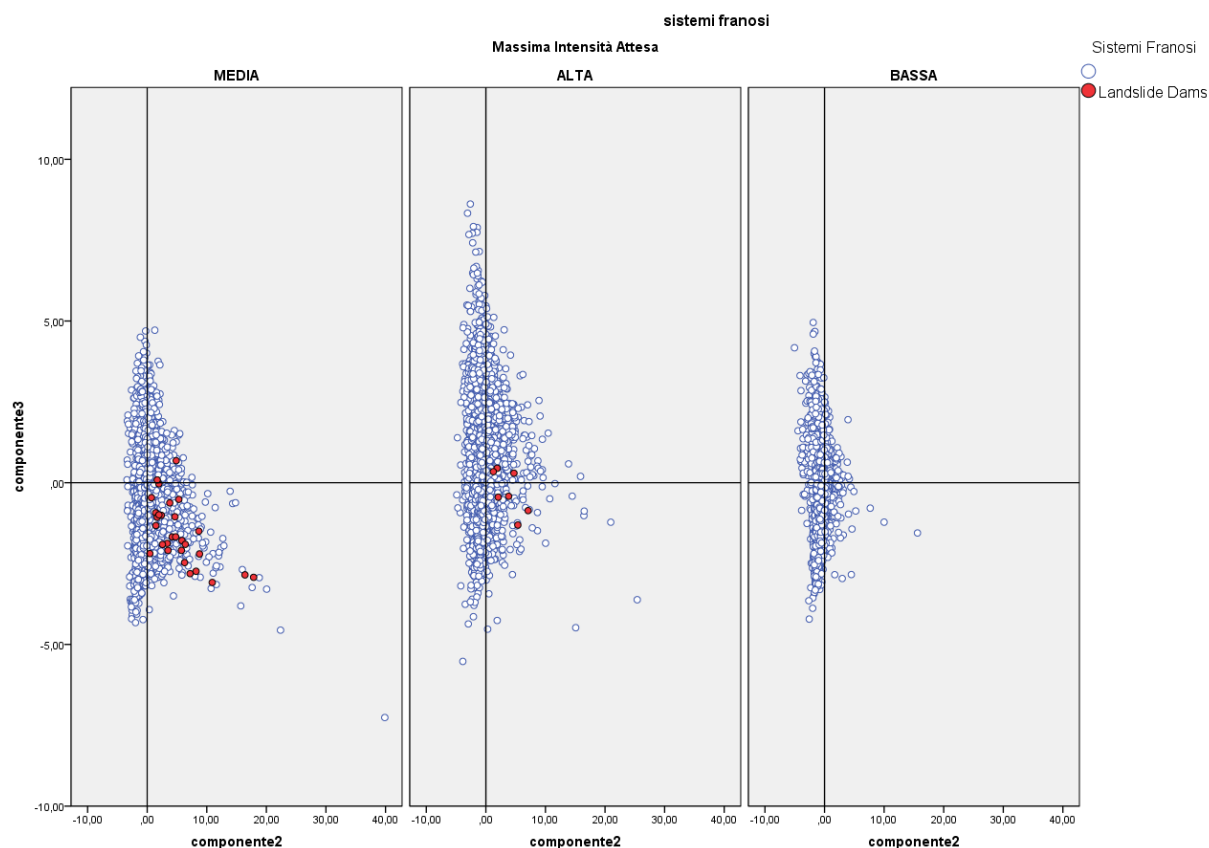
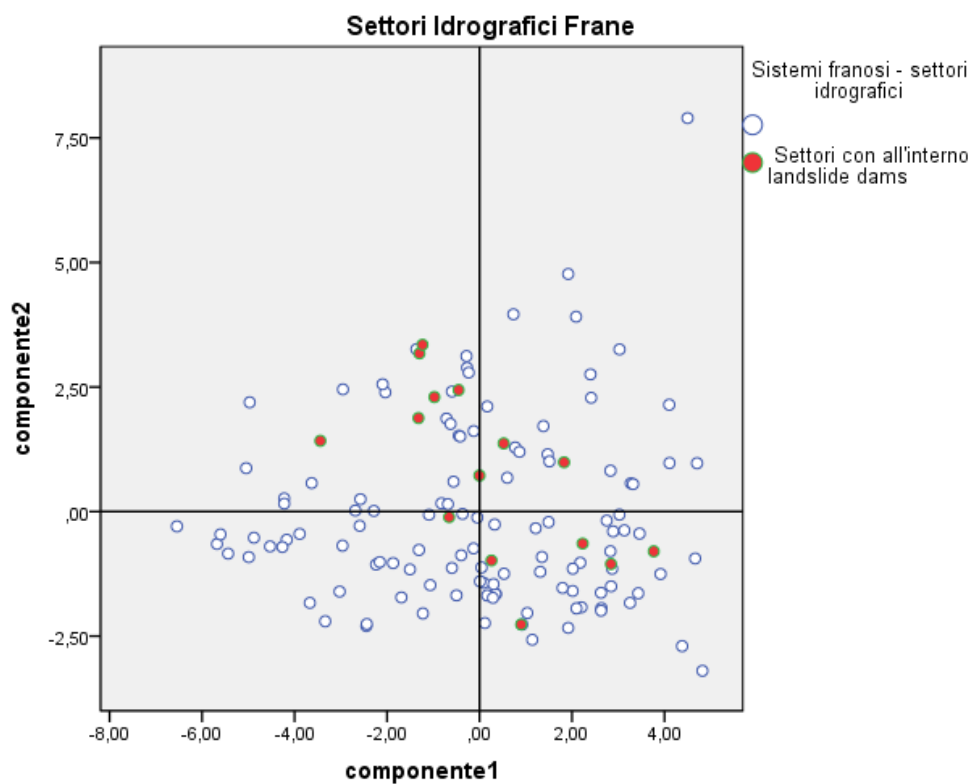


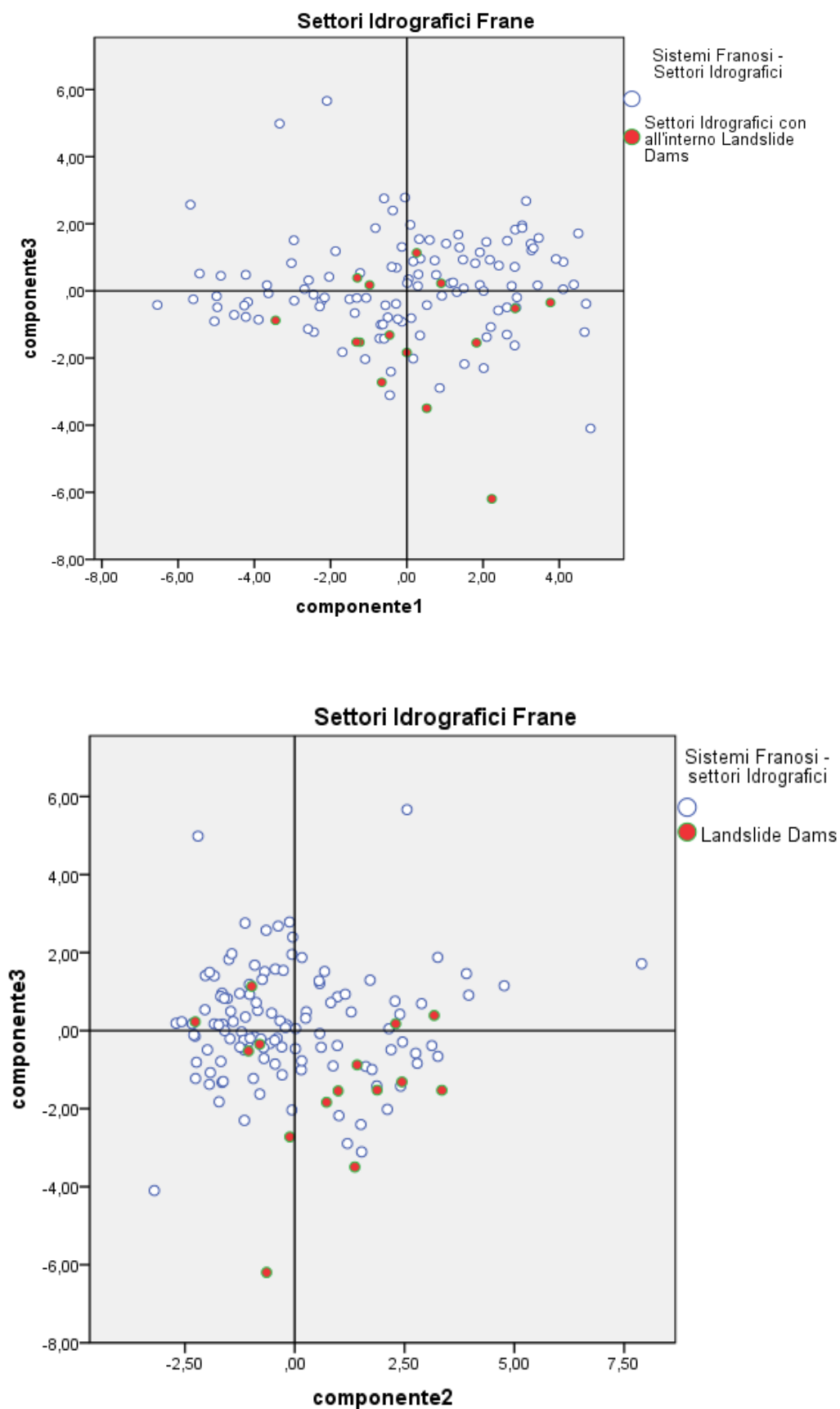
Fig. 5..37- 39: Analisi dei sistemi franosi in relazione alle landslide dams





Figg. 5.40-5.42. Proiezioni delle correlazioni tra componenti principali dei sistemi franosi con evidenziate le landslide dams rilevate.





Figg. 5.43-5.45. Proiezioni delle correlazioni tra le componenti principali dei Sistemi franosi – Settori idrografici con evidenziate le landslide dams rilevate.

6. Discussione

Di seguito si discutono le risultanze delle elaborazioni, effettuate in merito alla individuazione, distribuzione e caratterizzazione a livello regionale dei sistemi franosi ed ai fattori che ne controllano l'evoluzione in termini di pericolosità geomorfologica complessa di versante e di fondovalle. Gli scenari di pericolosità multipla comprendono, infatti, gli sbarramenti fluviali da parte di frane e la conseguente creazione di invasi più o meno temporanei che, a luoghi, possono provocare eventi di piena per tracimazione e rottura dello sbarramento. Tali eventi possono sconvolgere la naturale tendenza evolutiva e la morfologia dei tratti di alveo a valle ed interessare aree con insediamenti ed infrastrutture, creando situazioni di multi-rischio idrogeologico.

I risultati conseguiti dalla ricerca riguardano due aspetti conoscitivi e metodologici relativi alle pericolosità combinate frane-sbarramenti-alluvioni:

- Analisi geomorfologica di carattere tipologico, tassonomico ed evolutivo;
- L'analisi geomorfologica quantitativa di carattere previsionale.

6.1. *Analisi geomorfologica descrittiva*

L'analisi della bibliografia scientifica di settore ed i riscontri reali ricavati dal rilevamento geomorfologico di dettaglio hanno permesso di ricavare gli elementi distintivi e gli indicatori tassonomici semplici che caratterizzano le *Landslide Dams* e le differenziano dai normali fenomeni franosi. Attraverso questi indicatori, è possibile riconoscere, sul territorio, le fenomenologie pregresse, non ancora attive, le cui evidenze sono state in parte cancellate dall'azione degli agenti esogeni e quindi difficilmente individuabili.

Gli elementi geomorfici o *Indicatori geomorfici* che caratterizzano questi fenomeni sono (cfr. par.4.3.1.):

1. deviazione del tracciato fluviale da parte dell'accumulo;
2. superficie pianeggiante alluvionata e reincisa adiacente l'accumulo lato monte;
3. conoidi fluviali a valle dell'accumulo con l'asse maggiore orientato nella direzione della corrente.
4. Instabilità indotta alla base del versante opposto all'unghia del cumulo di frana.

Questi fenomeni sono stati classificati secondo la classificazione di Costa & Schuster, (1988) ed Hermanns et al. (2006), le quali sono risultate applicabili in 36 casi su 40.

I rimanenti quattro casi (ID 1, 13, 19, 29), corrispondenti a conoidi detritico alluvionali, non rientrano in queste classificazioni. Inoltre, in tre casi (ID 3, 28, 39,) inquadrati

inizialmente come tipo IV, cioè come sbarramento causato dalla mobilitazione contemporanea di due eventi opposti, la classificazione è stata rivista dato che il rilevamento ha evidenziato la franosità del versante opposto era indotta dallo sbarramento e non una concausa dello stesso.

In seguito all'esperienza maturata con i fenomeni franosi come quello di Montaguto (AV), si è ritenuto necessario rilevare e catalogare come “*Landslide Dams in Evolution*”, cioè frane di estensione chilometrica la cui mobilitazione potrebbe causare lo sbarramento dell'alveo di fondovalle, anch'esse non rientranti nella classificazione ufficiale. Per quanto sopra esposto, è stato necessario integrare la classificazione di Costa & Schuster (1988) con nuovi elementi che sono:

IIc: sbarramento ad opera di conoidi detritico alluvionali;

IVa: sbarramento formato da due frane non contemporanee, ma entrambe contribuenti all'ostruzione in tempi diversi;

X: frane in evoluzione;

I sistemi franosi sono stati quindi così classificati:

Classificazione	Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulata
I	5	12,2	12,2	14,6
X	11	26,8	26,8	41,5
II	10	24,4	24,4	65,9
IIc	4	9,8	9,8	75,6
III	2	4,9	4,9	80,5
IV	2	4,9	4,9	85,4
IVa	3	7,3	7,3	92,7
VI	3	7,3	7,3	100,0
Totale	40	100,0	100,0	

Fig. 6.1. Tabella di frequenza relativa alla distribuzione delle tipologie di *Landslide Dams*.

1	IIc	11	II	21	X	31	X
2	VI	12	VI	22	I	32	II
3	IVa	13	IIc	23	II	33	I
4	IV	14	X	24	X	34	II
5	I	15	IV	25	X	35	II
6	II	16	I	26	VI	36	III
7	X	17	II	27	X	37	II
8	II	18	X	28	IVa	38	X
9	III	19	IIc	29	IIc	39	IVa
10	I	20	II	30	X	40	X

Fig. 6.2. Tabella alla classificazione dei casi di studio rilevati.

6.2. Analisi geomorfologica quantitativa

Per quanto esposto nel capitolo 5, l'Analisi delle Componenti Principali ha consentito di evidenziare delle nuove variabili che spiegano il sistema indagato in termini di maggiore integrazione.

Per quanto riguarda i sistemi franosi, evidenziando i valori più significativi per ogni componente, si ottiene:

Variabile	Componente		
	1	2	3
Area (metri quadri)	0,296	0,805	-0,16
Perimetro (metri)	0,375	0,861	-0,151
Altezza media (sul livello del mare, in metri)	0,81	-0,337	-0,477
Altezza minima (sul livello del mare, in metri)	0,716	-0,442	-0,53
Altezza massima (sul livello del mare, in metri)	0,896	-0,18	-0,396
Acclività media (in gradi)	0,572	-0,19	0,77
Acclività massima (in gradi)	0,624	0,139	0,676
Acclività minima (in gradi)	0,353	-0,448	0,617
esposizione (in gradi, range 0-360)	-0,076	0,008	-0,082
dislivello (in metri)	0,652	0,568	0,213

Fig. 6.3. matrice dei componenti principali dei sistemi franosi

Le variabili della **componente 1** hanno il valore maggiore in corrispondenza dell'altitudine ed, in misura minore, in corrispondenza dell'acclività media, massima e dislivello. Tale componente può essere interpretata come “**Rilievo**”, in accordo con Gorsevsky et al. (2000), ed esprime il clima, la vegetazione (o uso del suolo) e l'energia potenziale intrinseca del sistema franoso.

La seconda componente presenta il valore maggiore nelle variabili Area e Perimetro, pertanto può essere interpretata come “**Estensione**” (o magnitudo) del sistema franoso.

La terza componente presenta i valori maggiori nelle variabili legate all'acclività (minima media e massima), per cui può essere interpretata come “**Velocità**” (o intensità) del sistema franoso.

Per quanto riguarda l'insieme dei sistemi franosi e dei settori idrografici, evidenziando i valori delle prime tre componenti principali si ottiene:

Variabili	componente		
	1	2	3
Area frana	,449	-,117	-,641
Perimetro frana)	,490	-,219	-,633
Altezza media frana	,630	,716	,001
Acclività media frana	,372	-,225	,673
Acclività massima frana	,788	-,385	,178
Acclività minima frana	-,211	,060	,422
dislivello frana	,861	-,331	,021
Altezza massima frana	,936	,070	,028
Altezza minima frana	,149	,941	,016
Area bacino	,484	-,188	-,507
Altezza massima bacino	,921	,136	,107
Altezza media bacino	,629	,715	-,019
Altezza minima bacino	,198	,927	-,113
Perimetro bacino	,571	-,166	-,497
Dislivello bacino	,872	-,228	,155
Acclività massima bacino	,797	-,257	,324
Acclività media bacino	,612	,030	,523

Fig. 6.4. matrice dei componenti principali dei settori idrografici caratterizzati dai sistemi franosi

La prima componente presenta i valori maggiori nelle variabili riguardanti altezza massima, acclività massima e dislivello. Tale componente può essere interpretata complessivamente come insieme di fattori espressione della “**Energia potenziale**” del sistema geomorfico di riferimento.

La seconda componente principale presenta i valori maggiori nelle variabili altezza minima e media, che, nell’insieme, può essere interpretata come “**Rilievo**” del sistema doppio sistema franoso-settore idrografico.

La terza componente principale presenta valori bassi delle variabili, dai quali emergono solo le variabili relative alla acclività media per entrambi i parametri, per cui essa può essere interpretata come indicatore di **angolo di stabilità finale non ancora raggiunto** (*angle of ultimate stability*, sensu Chandler R.J., 1982).

Quindi, le variabili che spiegano circa l’80% della variabilità totale, sono Energia potenziale, Rilievo, Angolo di stabilità finale non ancora raggiunto, l’Estensione (o Magnitudo) e la Velocità di mobilitazione (Intensità).

In base ai risultati ottenuti, è stata effettuata un’operazione di filtraggio dei dati prendendo come riferimento i valori delle componenti principali relativi alle landslide dams

ed escludendo i valori al di fuori del loro campo di esistenza. L'operazione ha riguardato tutte e tre le correlazioni (1-2, 1-3, 2-3).

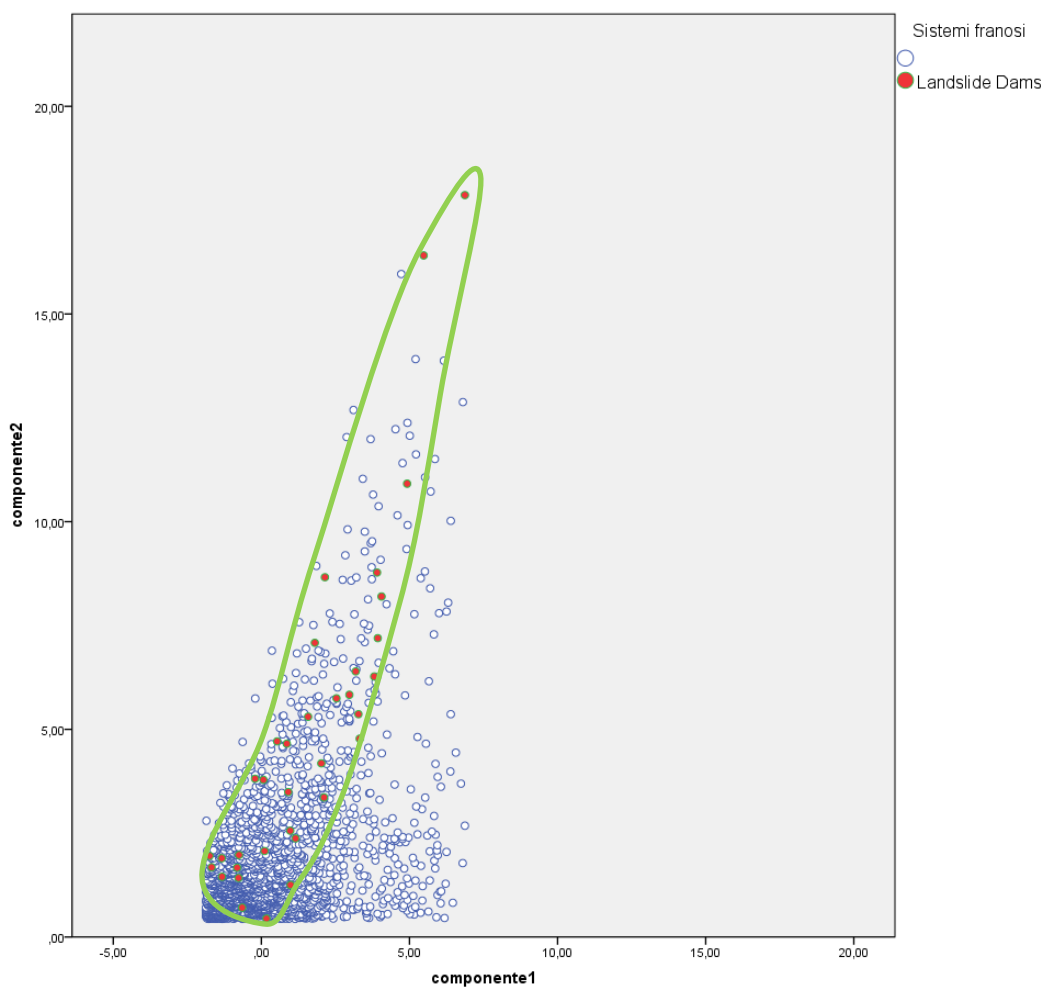
Per i sistemi franosi i valori considerati sono i seguenti:

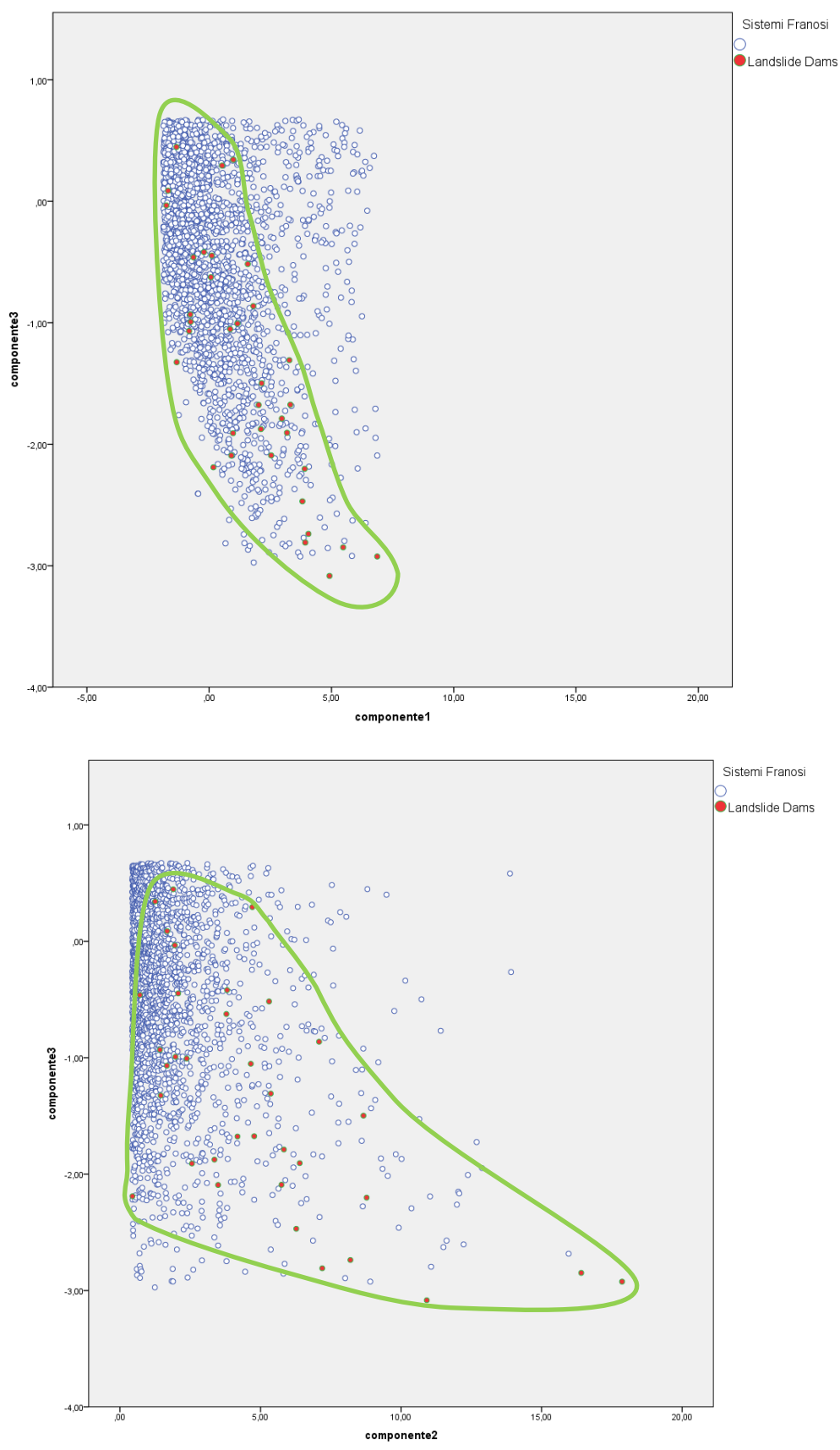
$$-1.87 \leq \text{componente 1} \leq 6.87$$

$$0.44 \leq \text{componente 2} \leq 17.86$$

$$-3.08 \leq \text{componente 3} \leq 0.68$$

Dopo il filtraggio sono stati elaborati i seguenti grafici:





Figg. 6.3- 6.6. Grafici ottenuti attraverso l'operazione di filtraggio. In verde l'area di selezione del campo relativo alle landslide dams per l'ulteriore operazione di filtraggio.

La prima operazione di filtraggio ha consentito di selezionare 2.227 casi rispetto ai 18.100 totali. I dati relativi alle componenti principali dei records residui, sono stati proiettati su dei grafici che sono stati, a loro volta, sottoposti ad un'ulteriore operazione di filtraggio, che ha permesso di individuare un'area più ristretta e attinente al campo di esistenza delle *landslide dams*. Inoltre, sono stati eliminati i sistemi franosi ad intensità massima attesa bassa. Il numero complessivo dei casi è passato da 2.227 a 1.197, che rappresentano gli “**Sbarramenti Potenziali**”. Nelle figure 6.7 e 6.8 si rappresentano graficamente le risultanze.

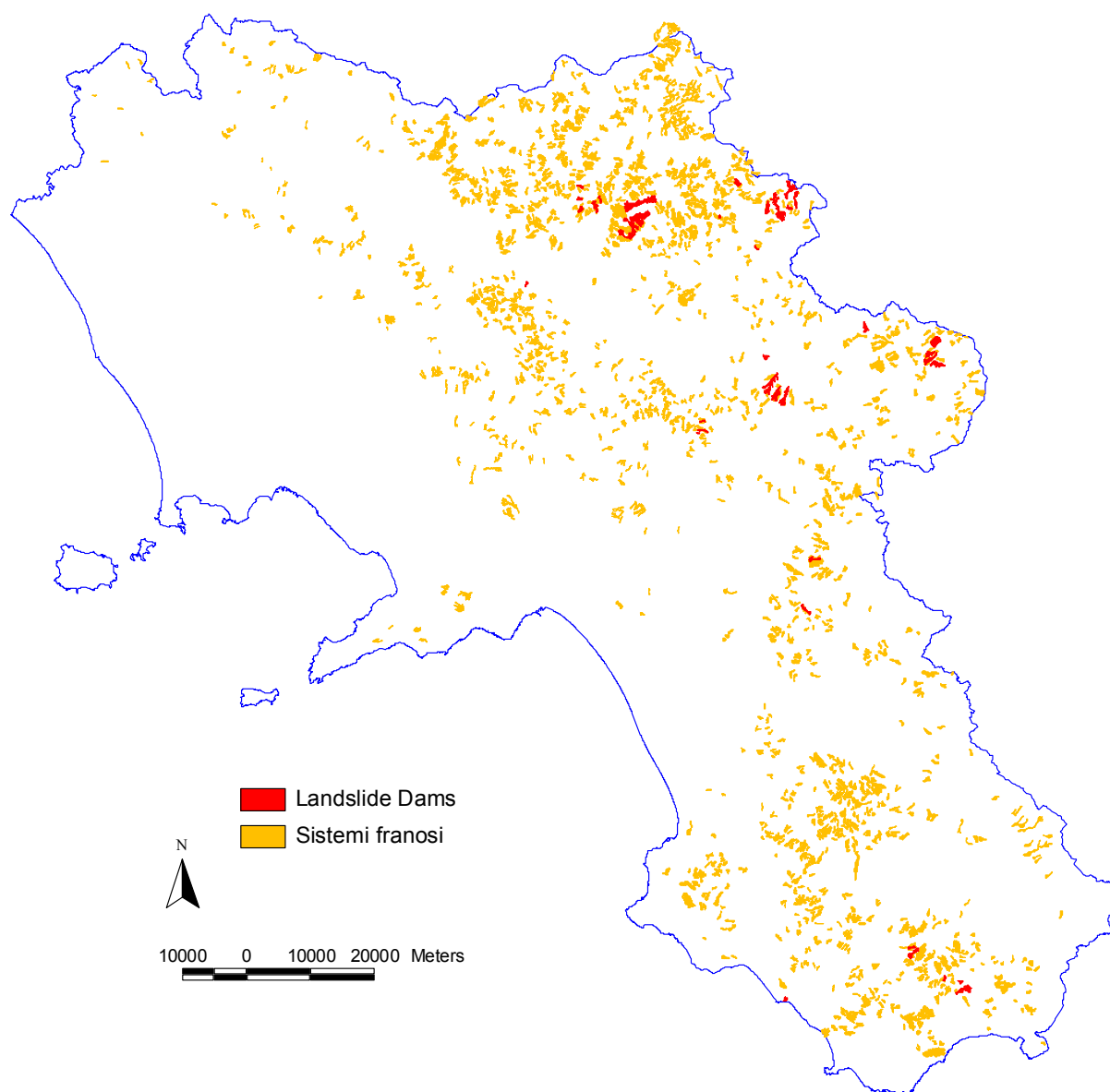


Fig. 6.7. Distribuzione dei sistemi franosi risultante dalla prima operazione di filtraggio.

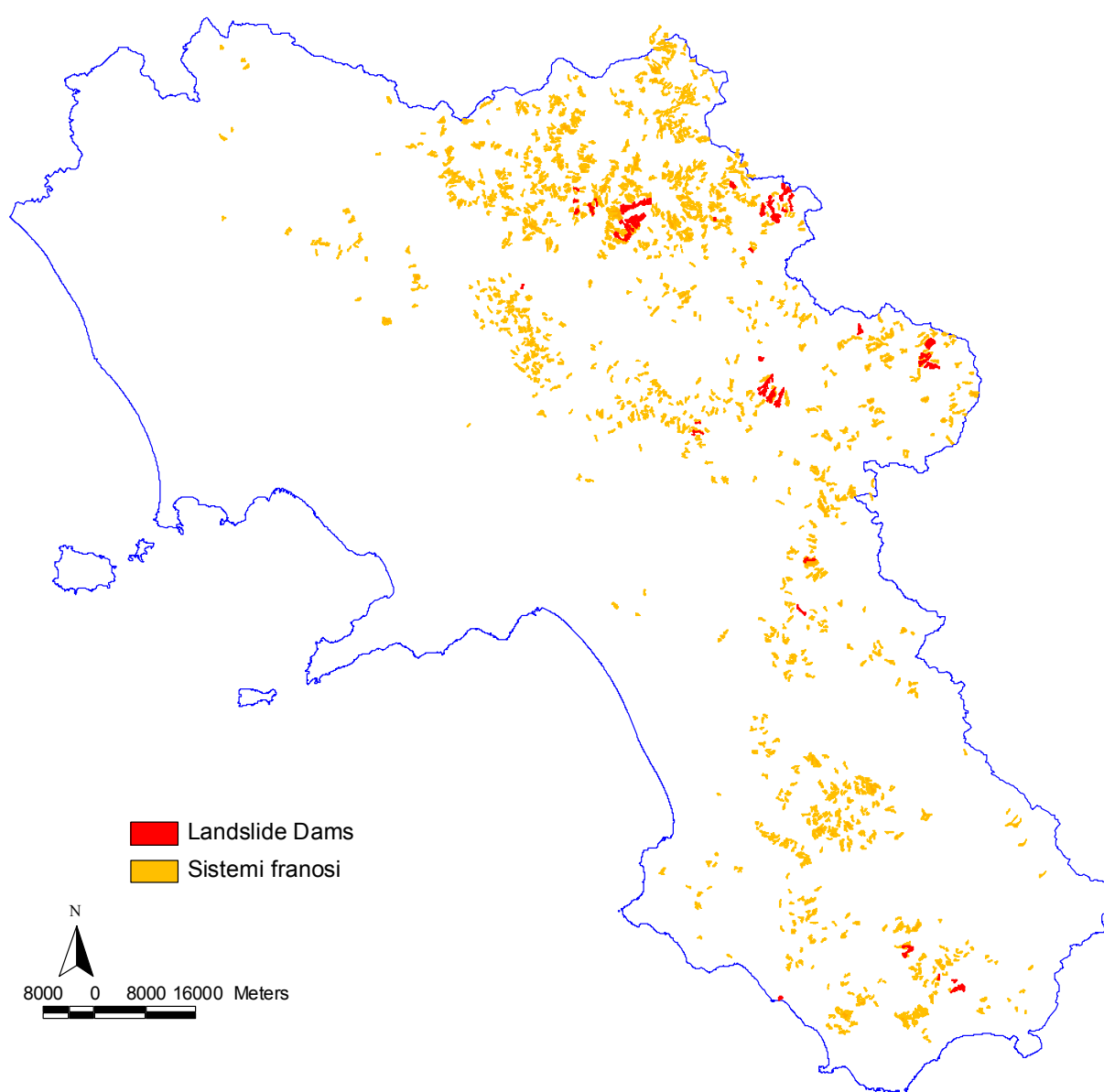


Fig. 6.8. Distribuzione dei sistemi franosi risultante dalla seconda operazione di filtraggio (sbarramenti potenziali).

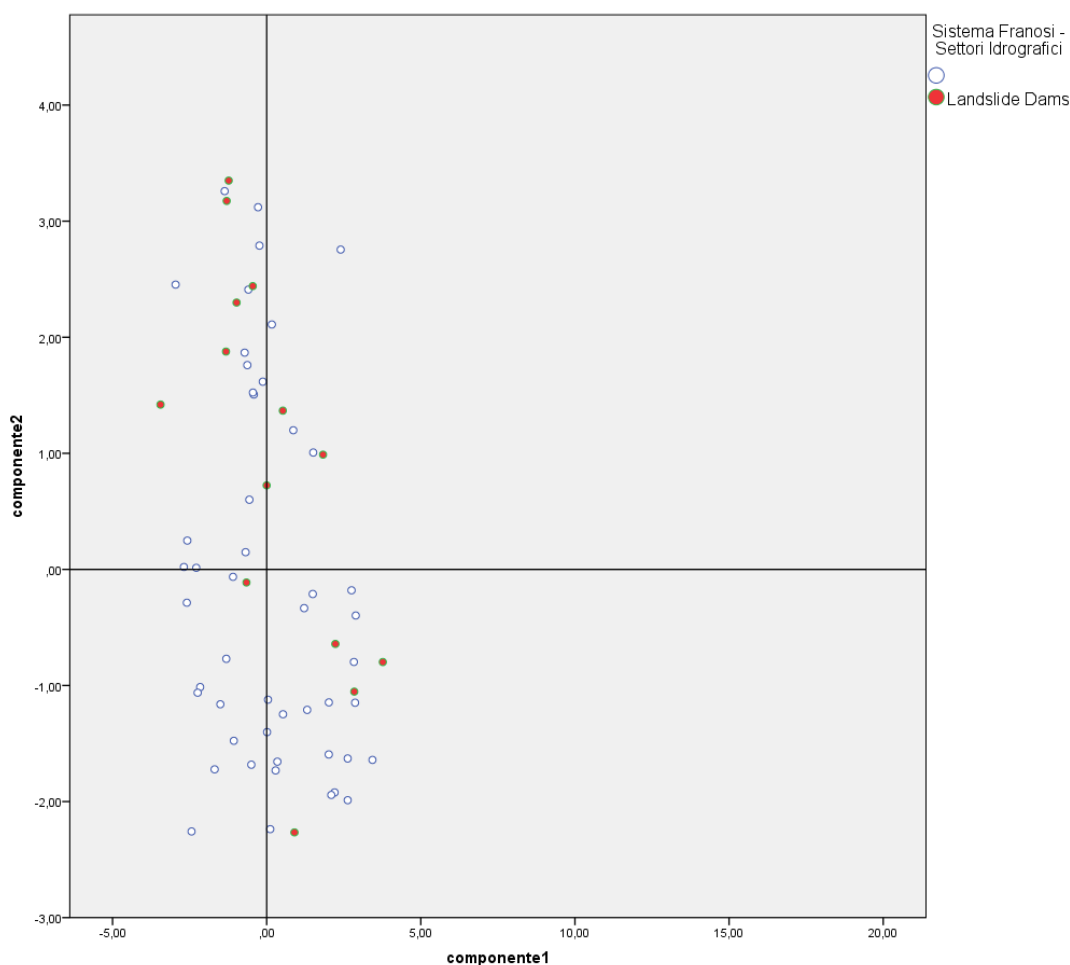
La stessa operazione di filtraggio è stata applicata all'insieme dei settori idrografici – sistemi franosi. Il limite della variabilità delle componenti principali è dato dagli oggetti che presentano all'interno delle landslide dams:

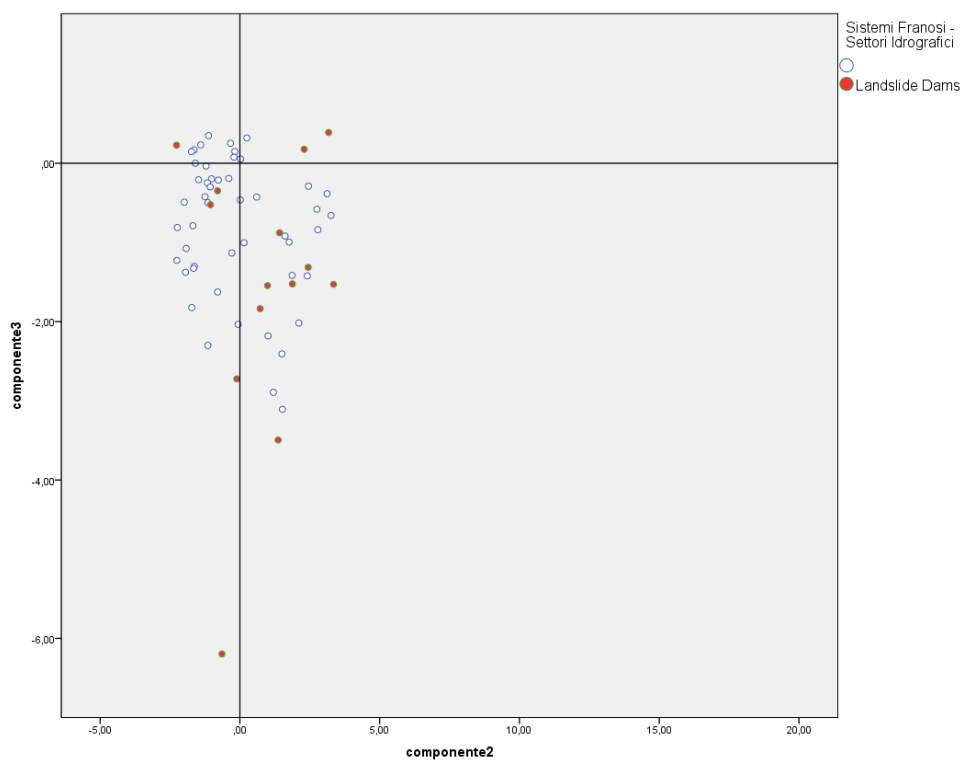
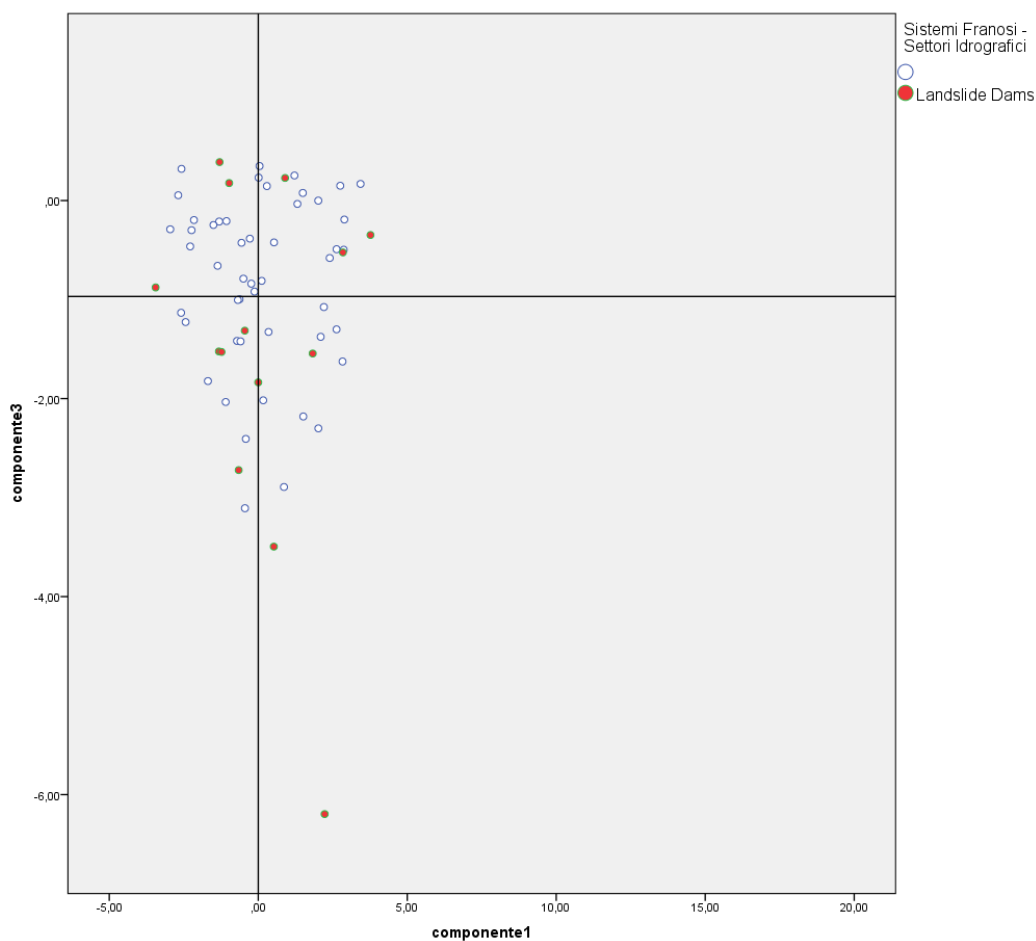
$$- 3,44 \leq \text{componente 1} \leq 3,77$$

$$- 2,27 \leq \text{componente 2} \leq 3,35$$

$$- 6,20 \leq \text{componente 3} \leq 0,39$$

L'operazione di filtraggio ha consentito di ridurre il numero dei settori da 133 a 55. Dalla proiezione delle componenti principali sugli assi si è rilevato che i valori rientrano, nella quasi totalità, nel campo compreso tra i settori nei quali sono stati riscontrati le landslide dams, pertanto non si è ritenuto necessario effettuare una seconda operazione di filtraggio.





Figg. 6.9-11. Grafici relativi alla prima operazione di filtraggio sull'insieme Settori Idrografici – Frane.

I settori idrografici caratteristici ottenuti, sono stati incrociati con i sistemi franosi derivanti dalla seconda operazione di filtraggio (Fig. 5.55).

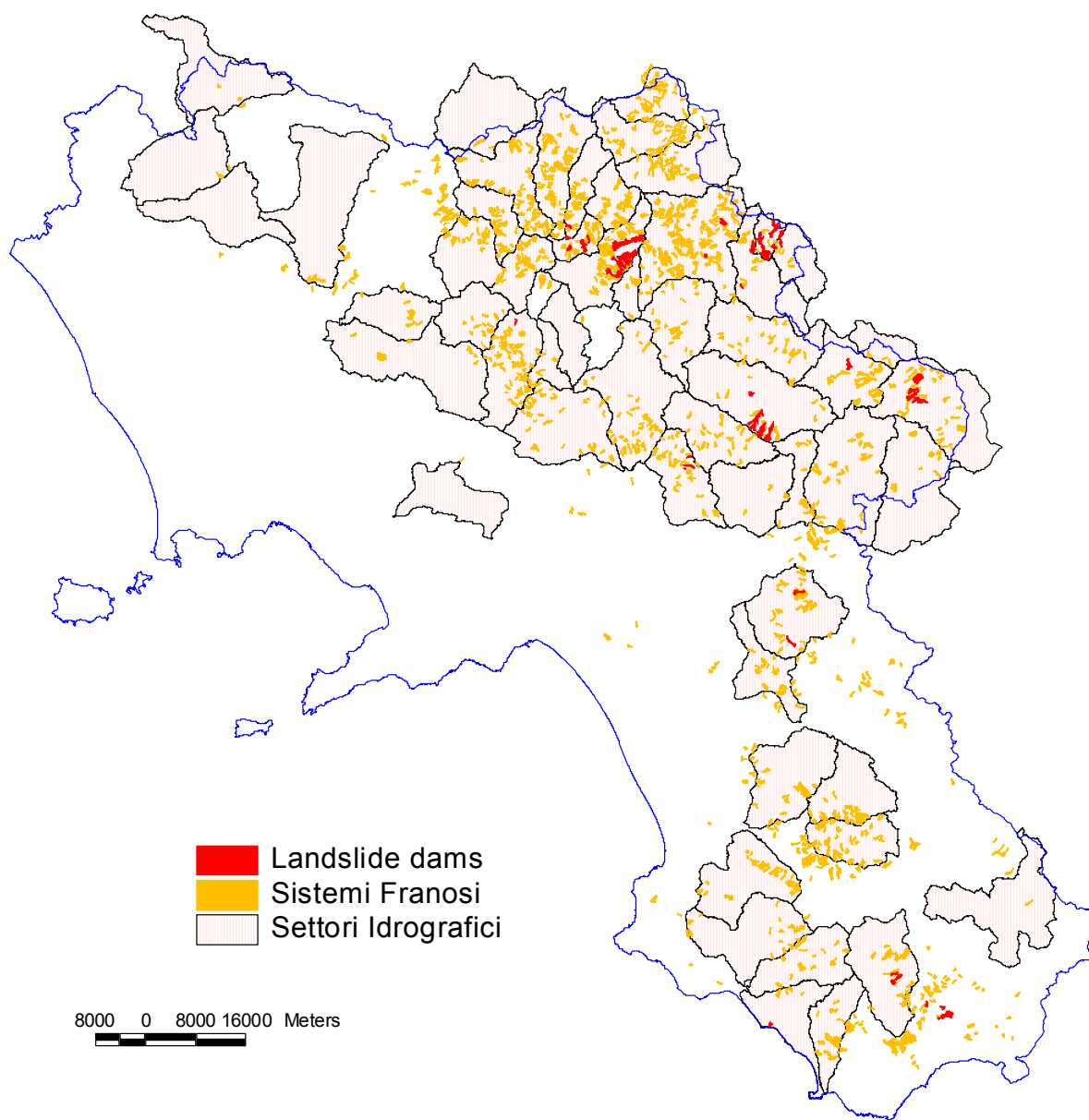


Fig. 6.12. Rappresentazione dei settori idrografici e degli sbarramenti potenziali dopo le operazioni di filtraggio.

I risultati ottenuti rappresentano una buona base di partenza per successive e future analisi a scala di dettaglio. Da una prima analisi, emerge che molti di questi sistemi presentano alcuni degli indicatori geomorfologici individuati nello studio dei casi campione (landslide dams), come la deviazione fluviale dell'accumulo di frana. Di seguito si riportano alcuni esempi.

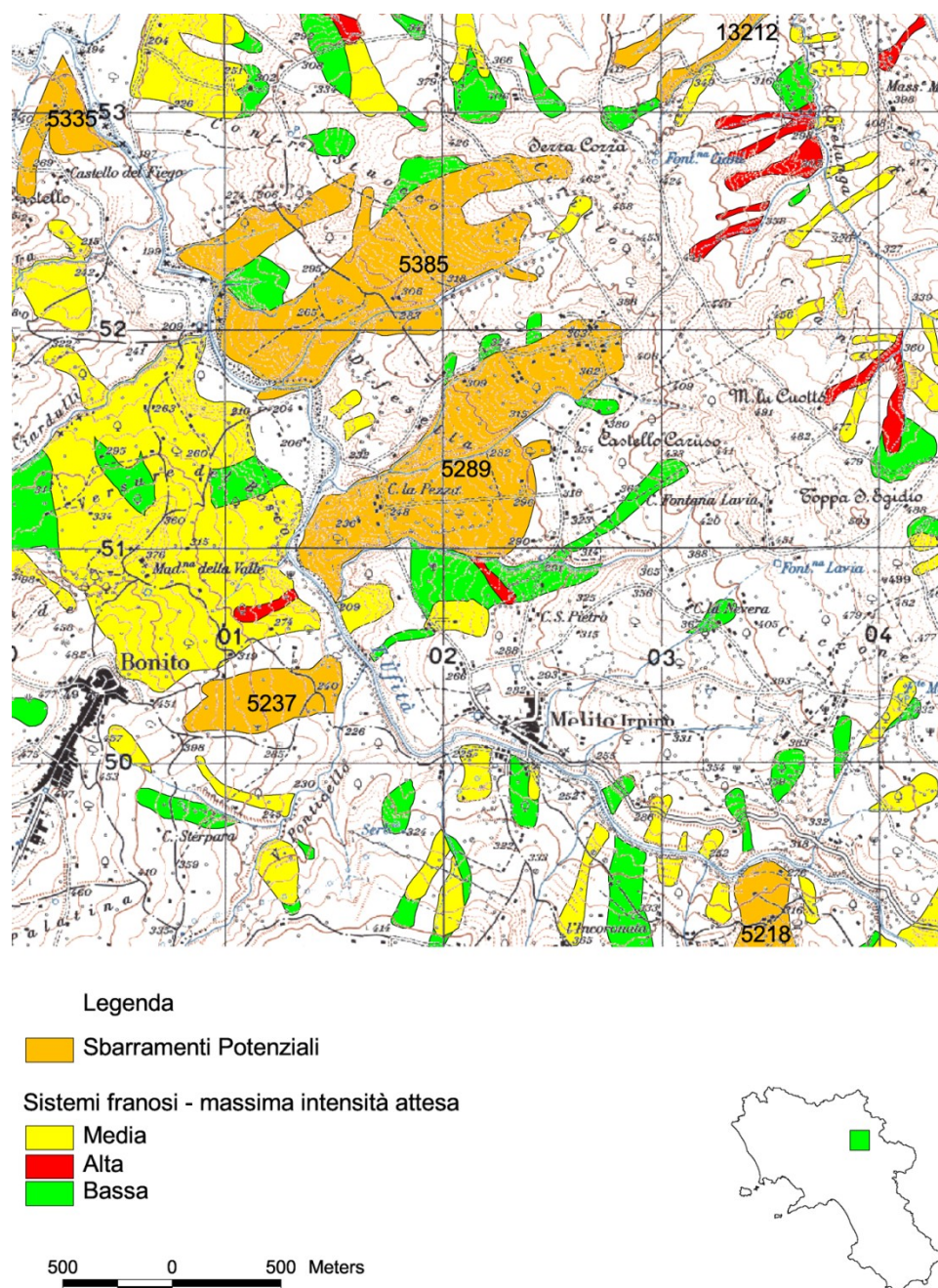


Fig. 6.13. Sistemi franosi che deviano il corso fluviale (Id=5385 e 5289) a nord dell'abitato di Melito Irpino (AV)

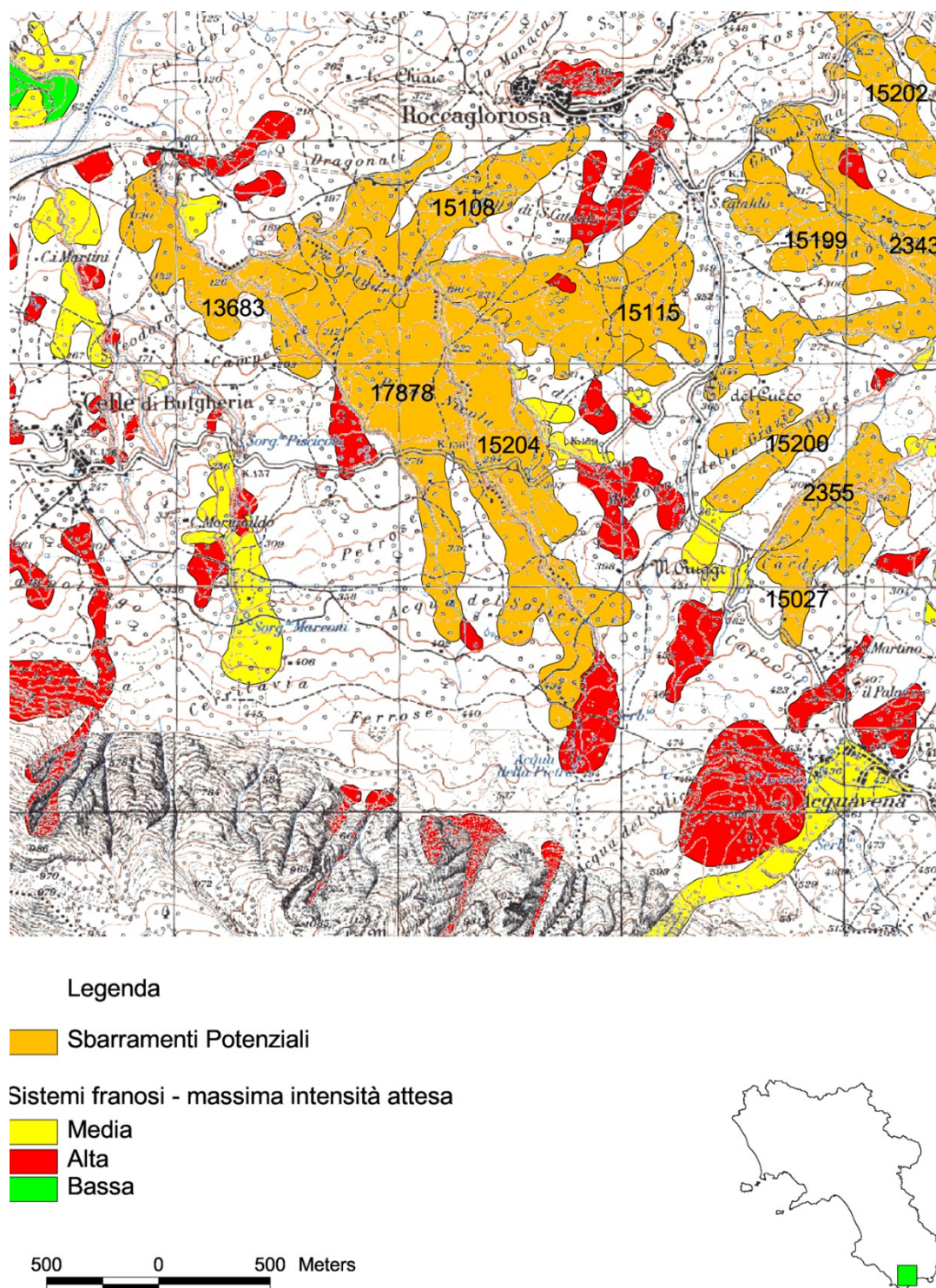


Fig. 6.14. Insieme di sbarramenti potenziali (tipo X della classificazione proposta nella presente ricerca) in un bacino compreso tra l'abitato di Rocca di Roccagloriosa e Cella Di Bulgheria (SA)

6.3. Confronto dei valori relativi ai fattori predisponenti.

I sistemi franosi “residui”, per un totale di 1197, sono stati classificati, per estensione areale, in base ai fattori predisponenti di interesse regionale: clima, litologia, e uso del suolo (*Corine Land Cover*) ed alla geomorfologia. Lo stesso procedimento è stato adottato per le *Landslide Dams*. I risultati del confronto sono riportati in percentuale, nei diagrammi che seguono.

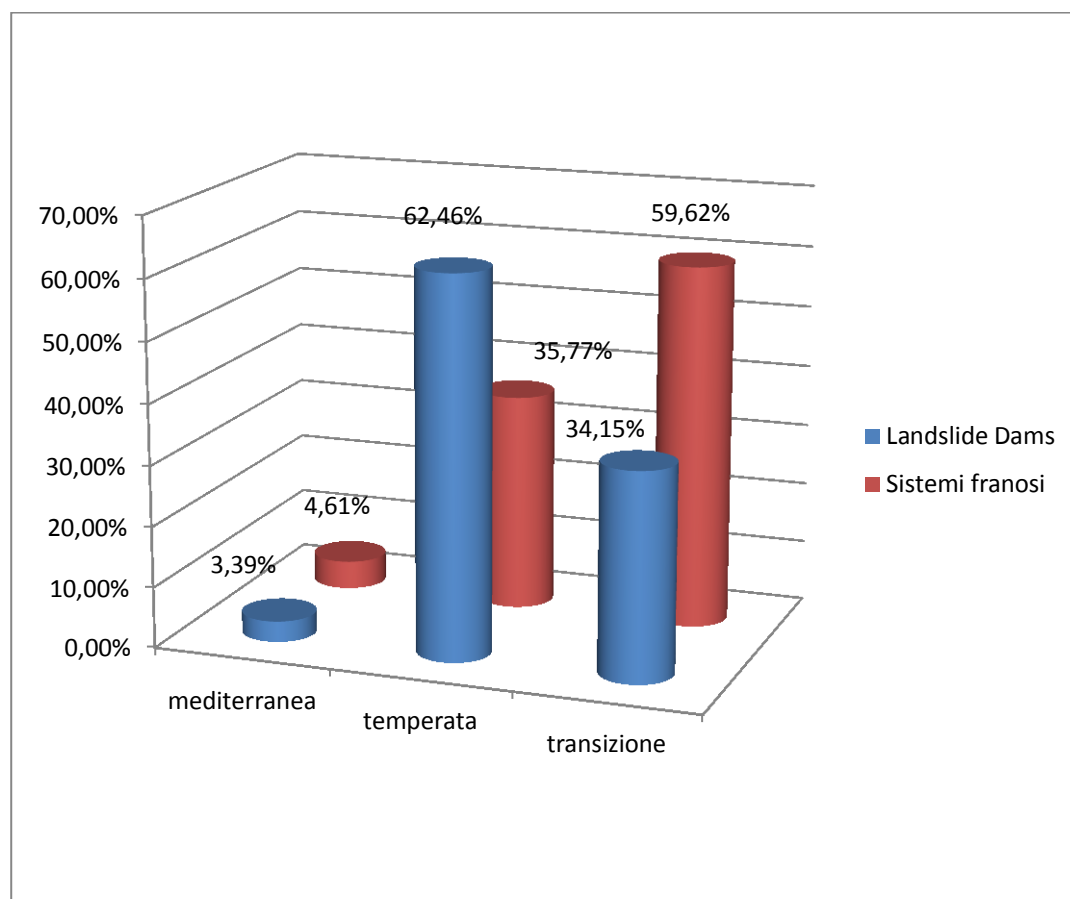


Fig.6.13. Confronto tra le landslide dams ed i sistemi franosi residui in relazione alle regioni climatiche (Blasi et al., 2000).

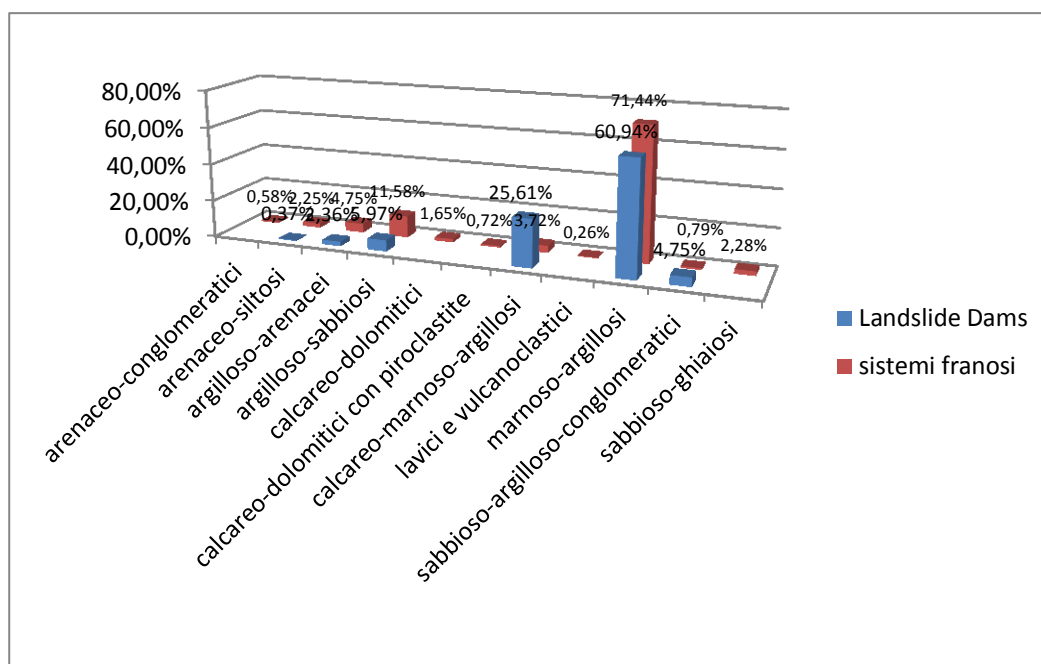


Fig. 6.14. Confronto tra landslide dams e sistemi franosi residui in relazione ai complessi litologici.

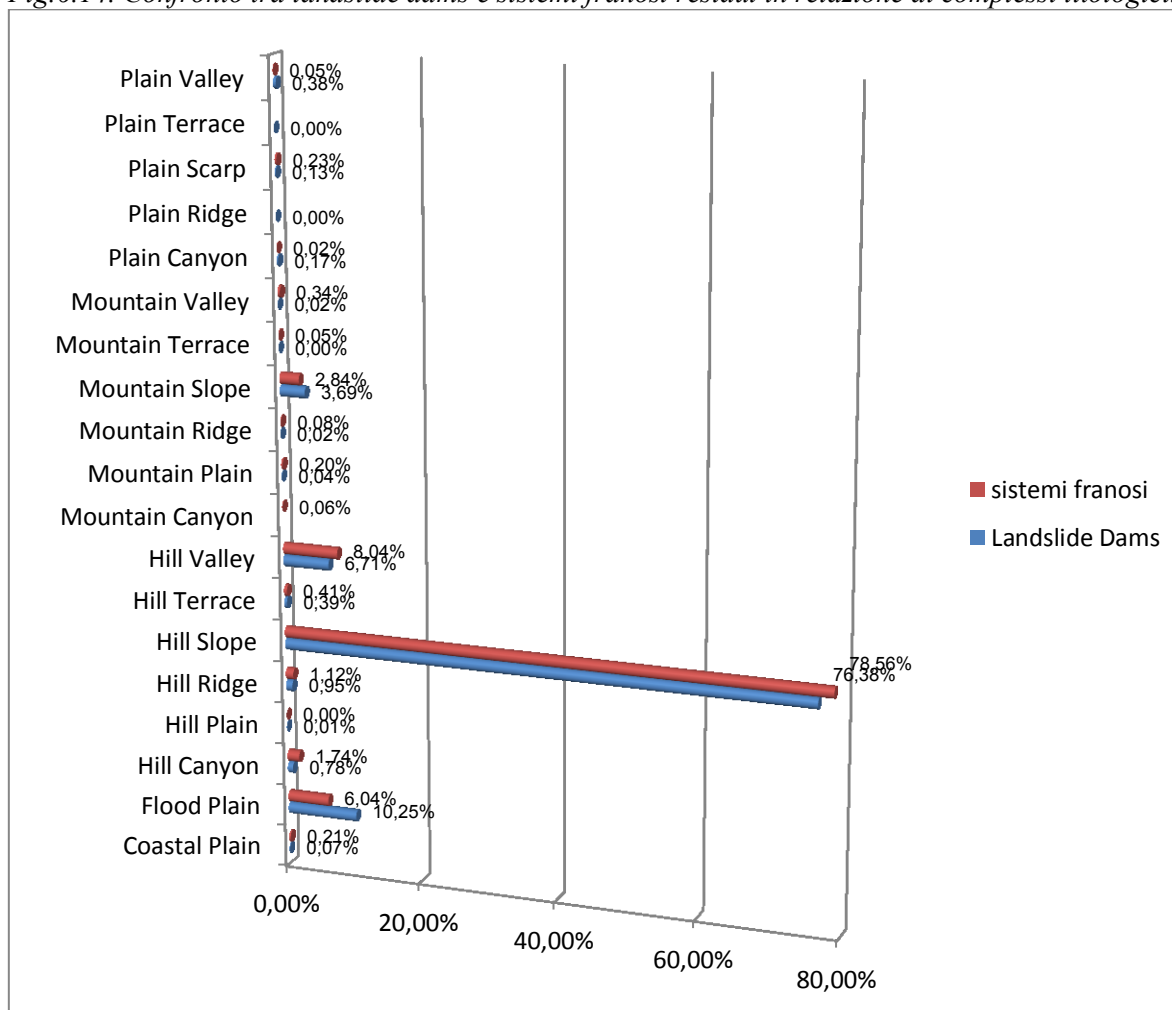


Fig. 6.15. Confronto tra le landslide dams ed i sistemi franosi residui in relazione ai morfotipi

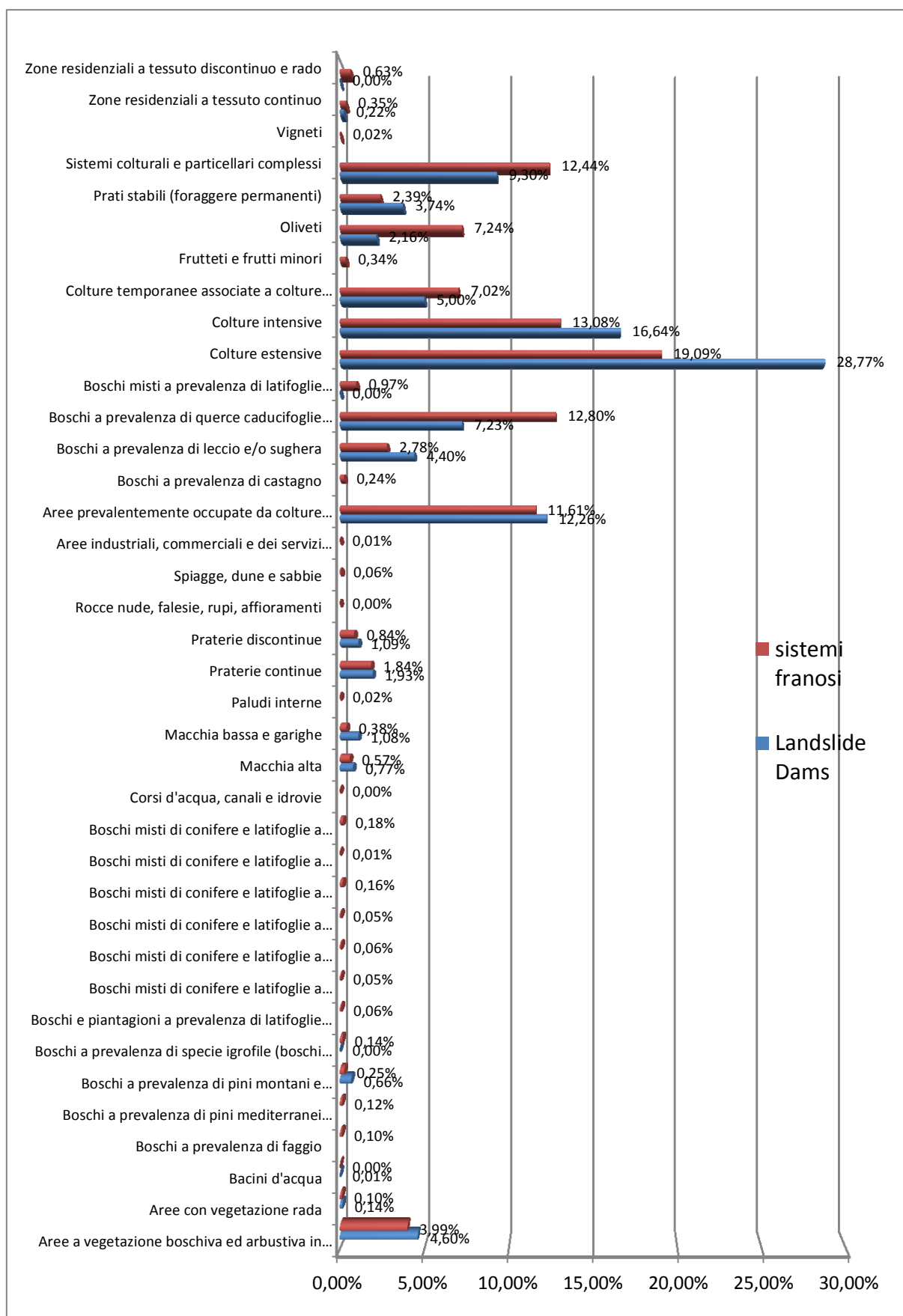


Fig.6.16. Confronto tra le landslide dams ed i sistemi franosi residui in relazione all'uso del suolo

I casi rilevati in Regione Campania (*Landslide Dams*) hanno consentito quindi, a scala di dettaglio, di individuare un insieme di sistemi franosi simili o “*sistemi franosi suscettibili ad indurre sbarramenti fluviali*”, di seguito denominati “sbarramenti potenziali”, che sono risultati essere 1197 su un campione iniziale di 18100. I settori idrografici, 162 in tutta la Regione, discriminati in base ai sistemi franosi, sono $n=55$. Dal confronto dell'estensione areale in base ai fattori predisponenti quali attributi degli sbarramenti potenziali e delle landslide dams, è emerso che:

- È scarsa la possibilità che rientrino in un clima mediterraneo ($<5\%$)
- La maggioranza dei casi si sviluppa in litologie marnoso – argillose (60% - 70%)
- Il sistema geomorfico principale in cui si sviluppano questi fenomeni è rappresentato principalmente dai versanti collinari (Hill Slope, circa 80%)
- L'uso del suolo è prevalentemente agricolo (maggiore del 50% dei casi). Le aree urbanizzate sono di bassa entità (meno dell'1% del totale).
- Su 1197 sistemi franosi individuati, 1019 (85%) presentano una intensità massima attesa media e 178 (15%) un'intensità massima attesa alta.

Tutto quanto sopra esposto è concorde con la distribuzione spaziale dei sistemi individuati, ubicati lungo fasce di rilievo appenninico caratterizzate, dal punto di vista geologico, da depositi in facies di flysch, strutturalmente complessi a principale componente argillosa (Guida D et al. 1988,a,b) e da maggiore rilievo. I versanti sono prevalentemente basso-collinari, denudati delle coperture boschive per usi agricoli, in cui il territorio e, in particolare, il fondovalle, è scarsamente urbanizzato o infrastrutturato.

La prevalenza di fenomeni con intensità massima attesa media è indice della tipologia di fenomeni franosi che secondo la classificazione di Varnes (1978) coinvolgono questo tipo di terreni. I movimenti franosi (confr. par. 4.3) caratterizzati da questo tipo di intensità sono di tipo scorrimento, colata lenta e combinazioni tra i due. Tutto questo lascia presupporre che l'eventuale sbarramento non avvenga in modalità improvvisa e rapida, con velocità di flusso elevate (Cruden & Varnes, 1994), ma lenta e graduale nel tempo.

Analizzando alcuni dei sistemi franosi individuati, si evince che a scala 1:25000, presentano alcuni degli indicatori geomorfici innanzi descritti, mentre altri

A scala locale, avendo a disposizione maggiori dati morfometrici (lunghezza e larghezza) dei fenomeni franosi è stato possibile correlare vari aspetti del fenomeno, in

relazione agli indicatori geomorfici individuati, determinando delle linee di tendenza ed il relativo coefficiente di determinazione (R^2), indice del grado di correlazione tra le variabili.

La ricerca ha riscontrato la presenza di una correlazione lineare statisticamente significativa fra:

- area della frana ed area del bacino sotteso ($R^2 = 0,71$)
- lunghezza frana ed area frana ($R^2 = 0,72$)
- dislivello frana e dislivello del bacino ($R^2 = 0,66$)
- lunghezza delle frane e lunghezza dei bacini ($R^2 = 0,85$)
- l'area del versante opposto instabile e l'area della frana ($R^2 = 0,60$ con 37 come outlyer)
- l'area del lago e l'area della frana ($R^2 = 0,84$)

mentre non ha riscontrato una correlazione lineare significativa tra:

- larghezza e lunghezza delle frane ($R^2 = 0,21$)
- larghezza e lunghezza bacini ($R^2 = 0,42$)

Inoltre la ricerca non ha evidenziato correlazioni lineari tra l'area degli *outbursts* e l'area dei laghi o delle frane. Solo la correlazione è di tipo potenziale ($Y = nX^m$) determina un valore apprezzabile di R^2 :

- area outbursts ed area laghi ($R^2 = 0,65$)
- area outburst ed area frane ($R^2 = 0,59$)

6.4. Possibili scenari d'evento.

Gli sbarramenti fluviali da frana, per tutto quanto esposto nella presente ricerca, sono fenomeni particolarmente complessi e difficili da modellare, poiché coinvolgono sia la dinamica fluviale, sia la dinamica di versante. L'outburst può non avere l'apice direttamente connesso allo sbarramento, nel caso in cui a valle si presenti un sistema vallivo molto inciso, con un fondovalle stretto ed incassato. In questo caso il *runout*, cioè la distanza che intercorre tra il punto di rottura della diga e l'espansione conoidale, può essere anche di qualche chilometro. Il *runout* può coincidere con l'estensione longitudinale dell'outburst oppure può essere di gran lunga maggiore. L'espansione conoidale lontano dallo sbarramento fluviale è definita in letteratura come *Out wash Fan* (Korup, 2005).

Korup (2005) individua, su un campione di n=151 sbarramenti fluviali in Nuova Zelanda, una correlazione di potenza statisticamente significativa ($R^2=0,75$), tra l'area della frana (asse X) e la distanza di *runout* (asse Y) secondo la formula:

$$Y = 1558 X^{0.39}$$

Nella presente ricerca, questa formula è stata applicata ai casi campione per i quali è stato riconosciuto e cartografato un outburst, allo scopo di evidenziare eventuali corrispondenze tra il valore teorico calcolato ed il valore sperimentale.

Id landslide Dam	Area (in Km ²)	Runout distanza (in metri)	lunghezza outburst	Differenza (in metri)	differenza %
4	0,564966672	1246,97101	1398,425	-151,454	-12,15%
8	0,163115325	768,140055	415,18	352,960	45,95%
11	0,466287266	1157,02393	1164,921	-7,897	-0,68%
12	0,141134474	725,979514	617,452	108,528	14,95%
17	0,457463341	1148,43497	610,939	537,496	46,80%
20	0,52203503	1209,12254	1090,024	119,099	9,85%
22	0,179224092	796,878381	456,046	340,832	42,77%
23	0,369191939	1056,32076	1007,067	49,254	4,66%
28	0,703240274	1358,11927	558,069	800,050	58,91%
32	0,482369302	1172,42622	1222,358	-49,932	-4,26%
33	0,167172265	775,535177	747,047	28,488	3,67%
34	0,098330682	630,545141	282,13	348,415	55,26%
35	0,159342479	761,161416	474,171	286,990	37,70%
36	1,095335583	1614,32458	1554,997	59,328	3,68%
37	3,334409568	2491,98166	2048,82	443,162	17,78%
39	0,427084252	1118,06677	1068,224	49,843	4,46%

Fig. 6.16. Confronto tra i valori del *runout* calcolati con metodo statistico ed il corrispettivo valore di outburst rilevato sul campo.

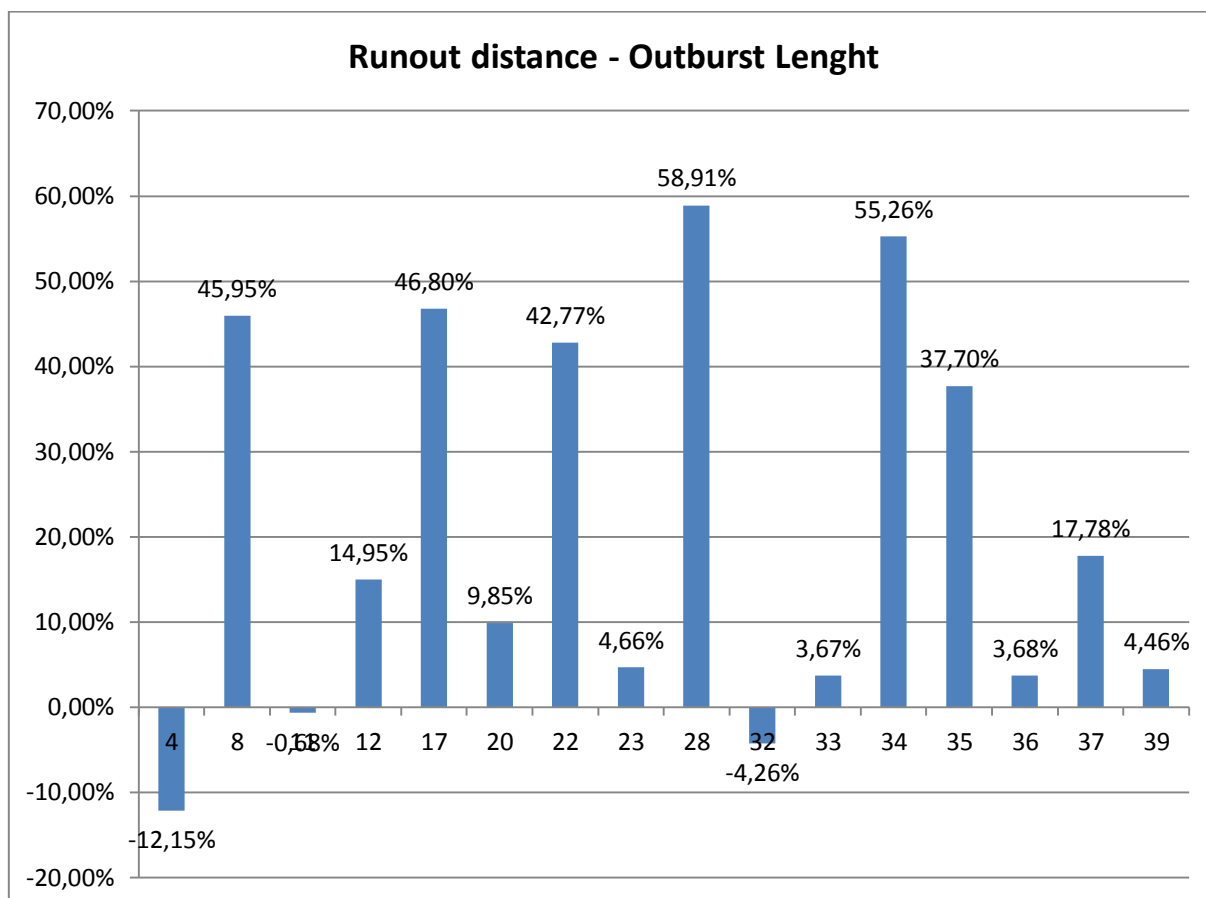


Fig.6.17. Grafico riassuntivo delle differenze, in percentuale tra il runout calcolato e la lunghezza dell'outburst.

Il confronto ha messo in evidenza che per 10 casi su 16 la differenza (positiva o negativa), è inferiore al 20%. Questo dato può essere ritenuto sufficientemente valido per estendere il calcolo del runout a tutti i sistemi franosi suscettibili a formare sbarramenti fluviali. Di seguito si rappresenta la distribuzione di frequenza dell'area del sistema franoso e la lunghezza di runout dei 1197 sbarramenti potenziali individuati.

		area kmq	runout
N	Validi	1197	1197
	Mancanti	0	0
Media		,292328	894,788944
E.S. della media		,0087807	8,0788732
Mediana		,198274 ^a	828,898021 ^a
Moda		,1411 ^b	725,9786 ^b
Deviazione std.		,3037910	279,5103309
Varianza		,092	78126,025
Asimmetria		4,015	1,602
Errore std dell'asimmetria		,071	,071
Curtosi		23,827	3,851
Errore std della curtosi		,141	,141
Intervallo		3,3068	2107,8674
Minimo		,0276	384,1144
Massimo		3,3344	2491,9818

Fig. 6.18.- Statistiche descrittive

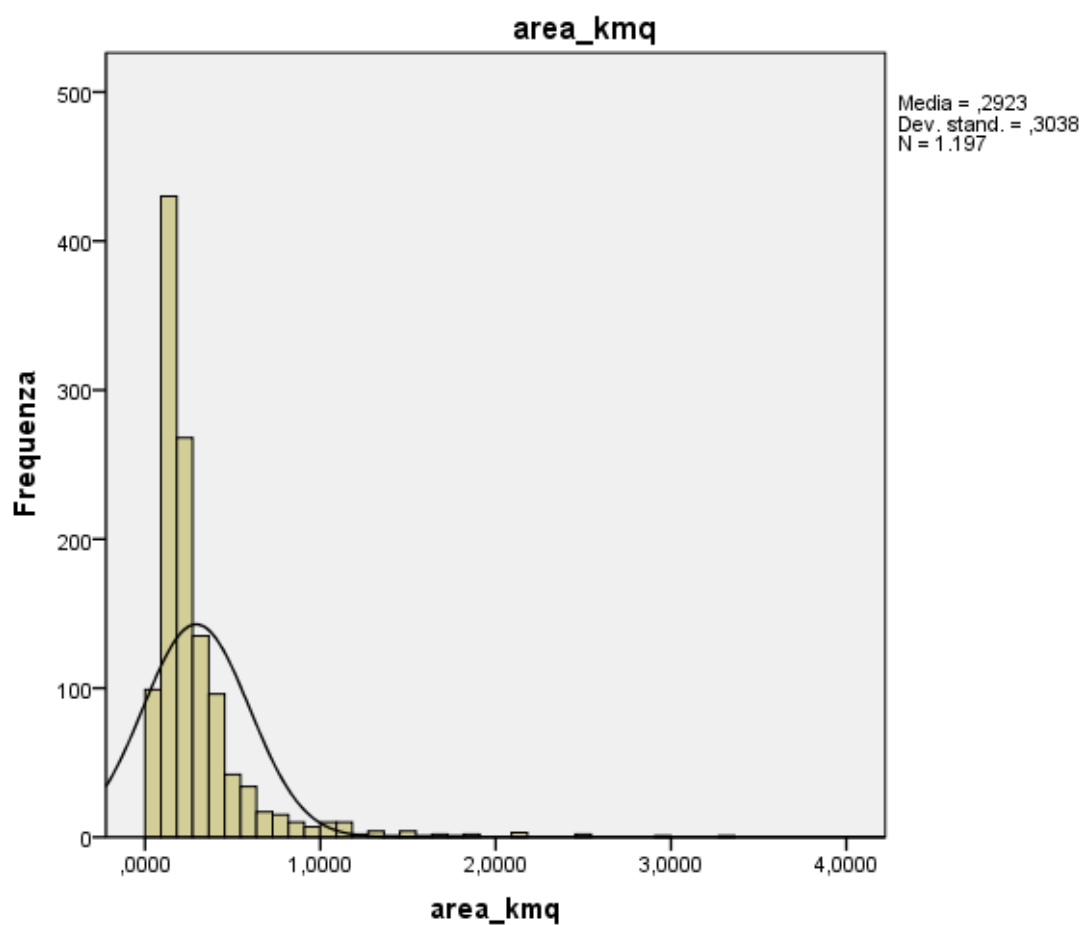
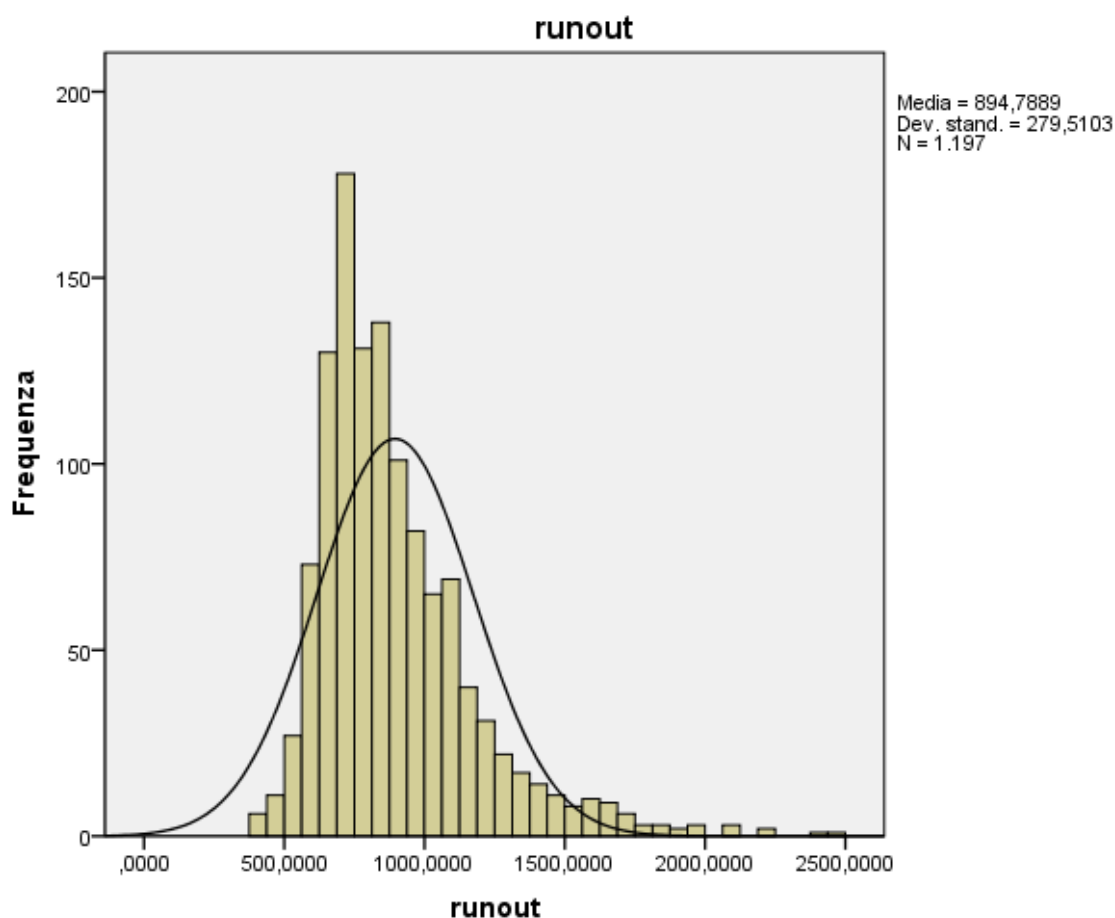


Fig. 6.19. Istogramma di frequenza dell'area degli sbarramenti potenziali



6.20. Distribuzione di frequenza del runout relativo agli sbarramenti fluviali

Come già esposto in precedenza, il runout dipende soprattutto dalla conformazione fisica della valle. Ad esempio nel caso della frana di Serre Delle Forche oltre al sistema di conoidi a valle dello sbarramento, è stata rilevata un'espansione conoidale o *out wash fan* (Korup, 2005) a circa 5 km dal cumulo di frana. Nel tratto che separa l'outburst dall'out wash il fiume Tammaro presenta un letto fluviale stretto ed incassato. Il sistema conoidale dell'out wash fan presenta due sistemi di conoidi sovrapposte, una più recente di dimensioni minori ($0,13 \text{ Km}^2$), sovrapposta ad una più antica di $0,7 \text{ Km}^2$ di estensione (fig.6.21).

La correlazione proposta da Korup, rappresenta un primo passo verso la definizione degli scenari di evento, da precisare con modelli fisicamente basati (flow 2d, 3d), tarati con le analisi di un numero statisticamente significativo di *outwash fan*, ed inquadrati nei settori idrografici codificati con il metodo **Pfafstetter**.



7. Conclusioni

L'obiettivo principale della presente tesi di dottorato ha riguardato l'individuazione e la modellizzazione dei casi di pericolosità geomorfologica, in cui l'evento coinvolge sia il versante sia il fondovalle fluviale relativo, nel territorio della Regione Campania.

A tal fine, è stata creata una banca dati fornita di un dataset ed un sub-dataset. Il dataset è costituito dai sistemi franosi derivanti dalla cartografia ufficiale redatta dalle Autorità di Bacino e da altri enti di ricerca presenti sul territorio campano, aggiornati e integrati da rilievi originali sia di campo sia da interpretazione di foto aeree in stereoscopia. Il sub-dataset è costituito da elementi originali, rilevati a scala di dettaglio, che rappresentano i casi di studio specifici sugli sbarramenti da frana.

L'aggiornamento dei dati a scala regionale è terminato a marzo 2007, data di presentazione dei risultati al convegno AIGEO di Torino.

Gli argomenti trattati nella letteratura scientifica in materia trattano, per la maggior parte, la modellazione della tenuta della diga naturale, con un approccio sedimentologico, geotecnico ed idraulico. Con la presente ricerca, si è cercato di orientare le analisi verso l'ambiente a contorno, in un'ottica geomorfologica, con particolare riferimento alle fenomenologie pregresse, cioè a quei sistemi franosi che hanno indotto o che sono suscettibili a indurre sbarramenti fluviali.

L'analisi a scala regionale (*target area analysis*, geomorfologia quantitativa), è stata effettuata su un campione di più di 18.000 sistemi franosi distinti in funzione della massima intensità attesa ed in base ai settori idrografici di riferimento. Mediante un'analisi statistica lineare (Analisi dei Componenti Principali), è stato possibile ricavare le variabili che spiegano circa l'80% dei sistemi franosi individuati partendo da un set di variabili "fisiche" (altezza sul livello del mare, acclività ecc.). Le nuove variabili individuate sono:

1. **Il rilievo** (Gorsevsky et al., 2000) del sistema franoso, che esprime il clima, l'uso del suolo e l'energia potenziale
2. **L'estensione** o *magnitudo* del sistema franoso
3. **Velocità** o *intensità* del sistema franoso

La stessa analisi, effettuata sui settori idrografici afferenti il territorio campano, caratterizzati in base alle frane, ha introdotto una nuova variabile denominata

4. **Indicatore di angolo di stabilità finale non ancora raggiunto** (*angle of ultimate stability*, sensu Chandler R.J., 1982).

A scala locale (*Training area analysis*, 1:5000, geomorfologia descrittiva), il rilevamento geomorfologico di dettaglio, ha consentito di cartografare 40 sistemi franosi pregressi, che hanno indotto o che possono indurre sbarramenti fluviali. I fenomeni franosi sono stati inquadrati nel relativo ambito morfologico significativo, e relazionati con le altre componenti dello sbarramento. La ricerca ha visto l'utilizzo di indicatori geomorfici già conosciuti come l'estensione del lago di sbarramento e l'*outburst* (Schuster, 2000) e indicatori originali, come la deviazione fluviale da parte del cumulo e l'instabilità che esso induce sul versante opposto della valle.

Questo tipo di analisi ha permesso di integrare la classificazione ufficiale degli sbarramenti da frana (Costa & Schuster, 1888; Hermanns et al., 2006) con 3 nuove classi.

I dati forniti dall'analisi a scala locale, in termine di componenti principali, ha consentito di filtrare i sistemi franosi totali e di individuare quei fenomeni simili che possono indurre sbarramenti fluviali, per un totale di 1197. Per questi ultimi è stata calcolata la distanza di *runout*, cioè la massima distanza che intercorre tra lo sbarramento e l'espansione alluvionale a forma di conoide, attraverso un metodo empirico proposto da Korup (2005). Il *runout* rappresenta uno dei possibili scenari evolutivi legato allo sbarramento, un altro è sovralluvionamento a monte in dotto dal lago di neoformazione, difficilmente modellizzabile in termini idraulici. I

Il metodo usato costituisce un primo passo verso la definizione degli scenari di pericolosità, da precisare con modelli fisicamente basati attraverso l'utilizzo di software di calcolo idraulico quali flow 2d e 3d.

I sistemi franosi ottenuti, incrociati con i fattori predisponenti, hanno determinato un quadro sufficientemente esaustivo permettendo di individuare delle caratteristiche in comune a tutti questi fenomeni:

- La regione climatica è temperata o di transizione
- I terreni sono prevalentemente marnoso – argillosi
- Il sistema morfologico di riferimento è rappresentato dal versante basso-collinare
- L'uso del suolo è prevalentemente di tipo agricolo.
- il fenomeno franoso difficilmente coinvolge zone urbanizzate.

7.1. Limitazioni della ricerca

Il metodo di Analisi delle Componenti Principali è un metodo lineare e quindi non contempla le correlazioni di altro tipo tra le variabili (esponenziale, polinomiale ecc.) che invece sono presenti, come testimoniato dalle correlazioni di potenza tra l'area delle conoidi di outburst e l'area sia del lago sia della frana corrispondente.

Per i sistemi franosi non sono stati rilevati, per impossibilità di calcolo in automatico dei software *free* attuali (*ad esempio Basin 4.0*) i relativi bacini sottesi a scala d'evento, pertanto le correlazioni basate sugli ambiti morfologici con le landslide dams (dove la perimetrazione dei bacini è stata manuale) non sono state effettuate.

Un'altra limitazione importante è data dalla dimensione delle celle del dem (20x20 m) che va bene per le analisi di versante, ma che può portare a degli errori di quota per le analisi del fondovalle.

7.2. Possibili sviluppi della ricerca


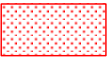

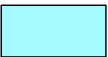
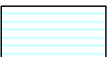
Il dataset ottenuto costituisce la base di partenza per ulteriori approfondimenti dal punto di vista geomorfologico, da attuare con metodi sia descrittivi, sia quantitativi. Un ulteriore filtraggio dei dati, permetterebbe di individuare altri casi di studio, da approfondire poi con il rilevamento geomorfologico di dettaglio.

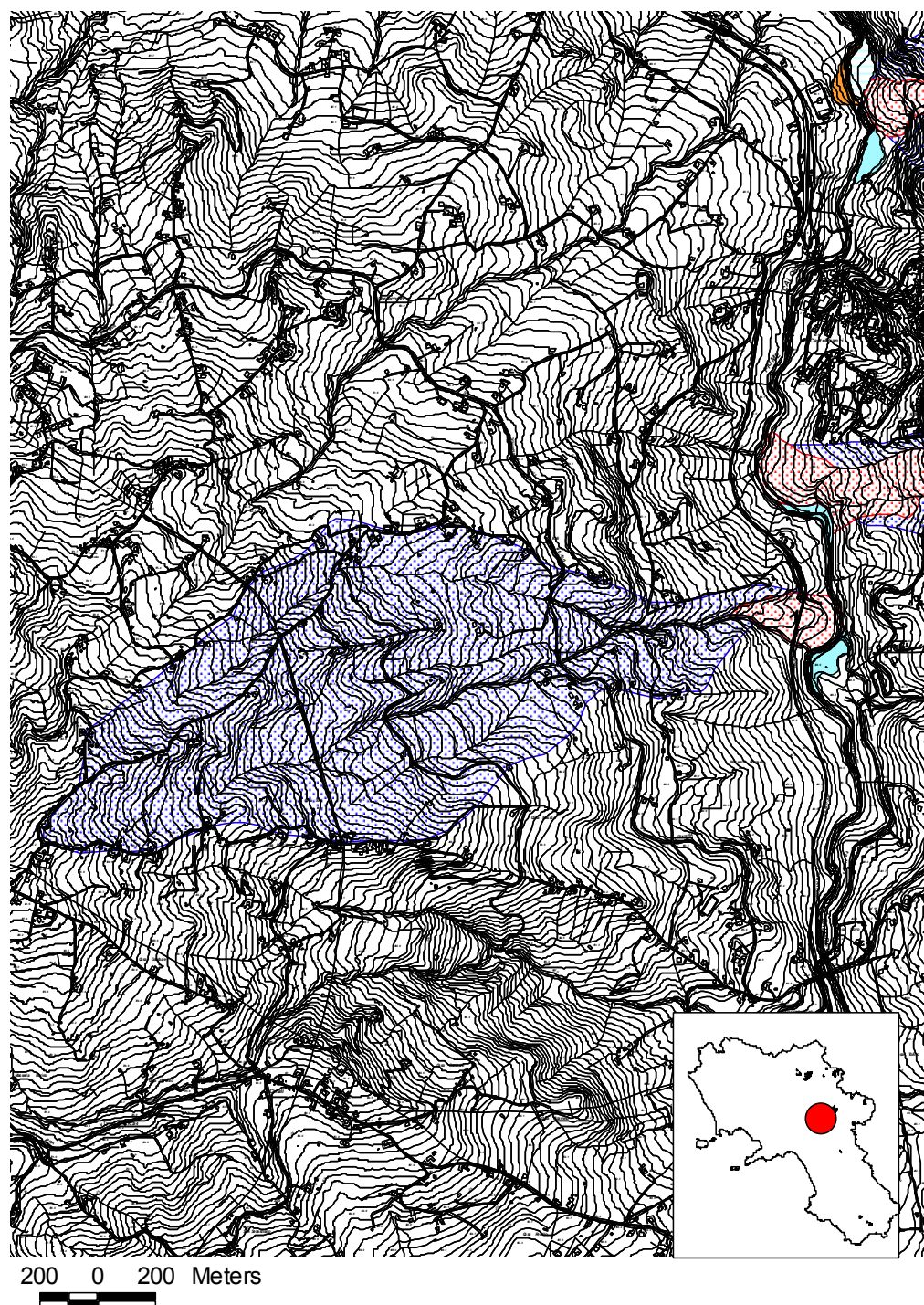
Un aumento della quantità di dati disponibili, da trattare poi con software di modellazione idraulica, renderebbe possibile il riconoscimento e la modellizzazione degli eventuali *outwash fan*, cioè delle aree di espansione delle onde di piena anomale generate dalla tracimazione degli sbarramenti e, quindi, di definire gli scenari d'evento con maggiore accuratezza.

APPENDICE A

Cartografie relative alle Landslide Dams non comprese nel testo

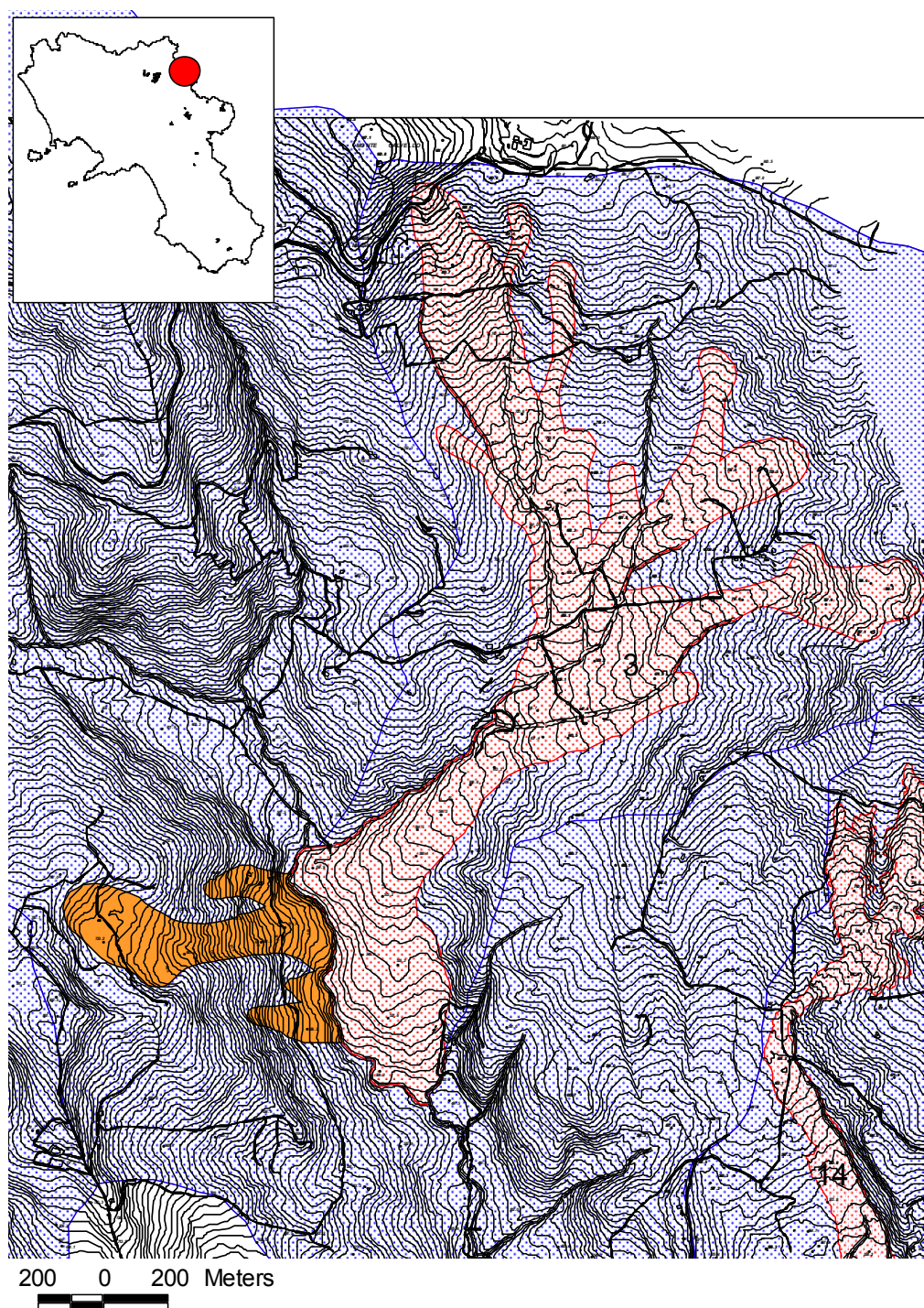
legenda

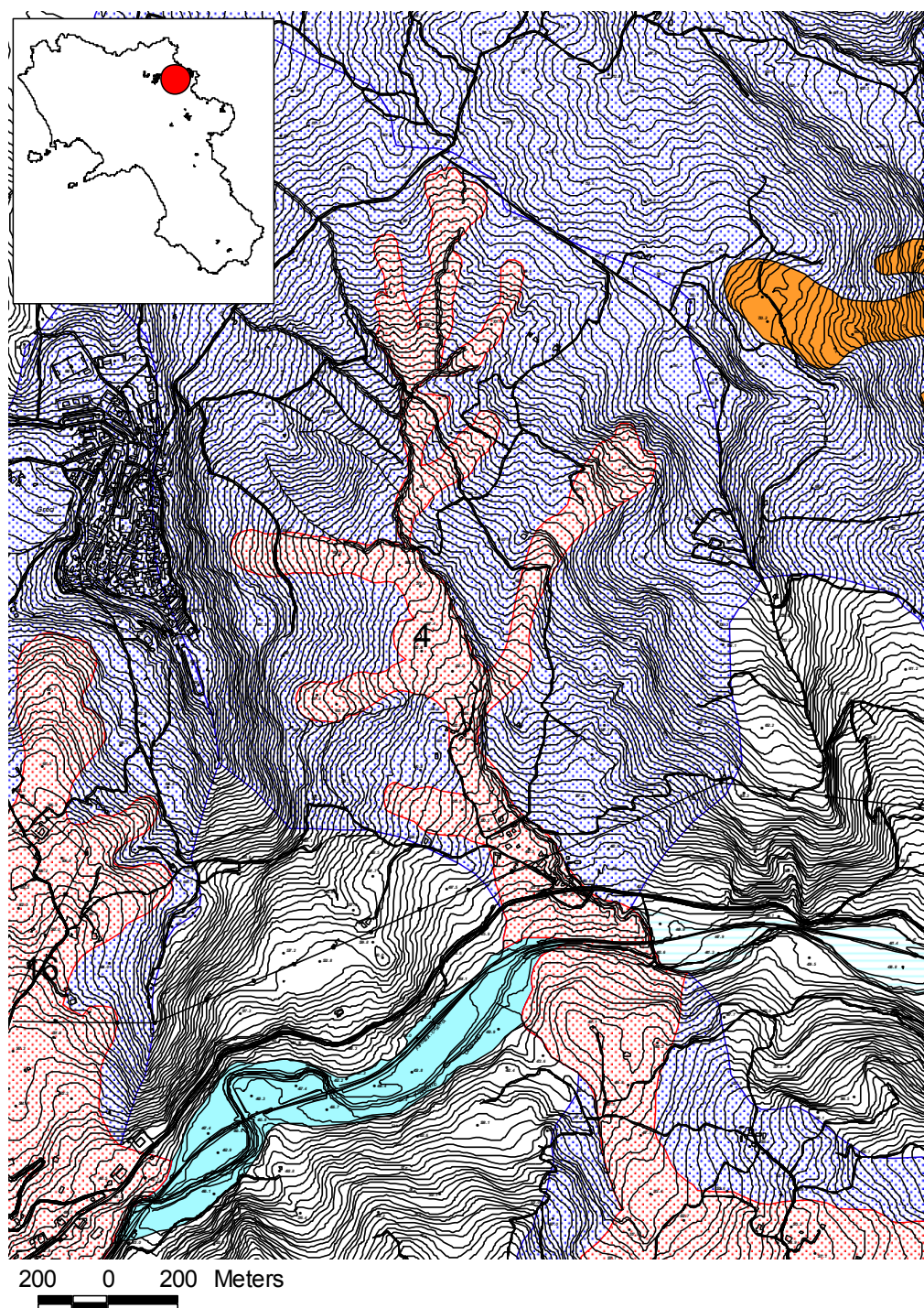
	<i>Instabilità al piede del versante opposto al cumulo di frana</i>
	<i>Sistema franoso</i>
	<i>Bacino Idrografico</i>
	<i>Lago</i>
	<i>Outburst</i>



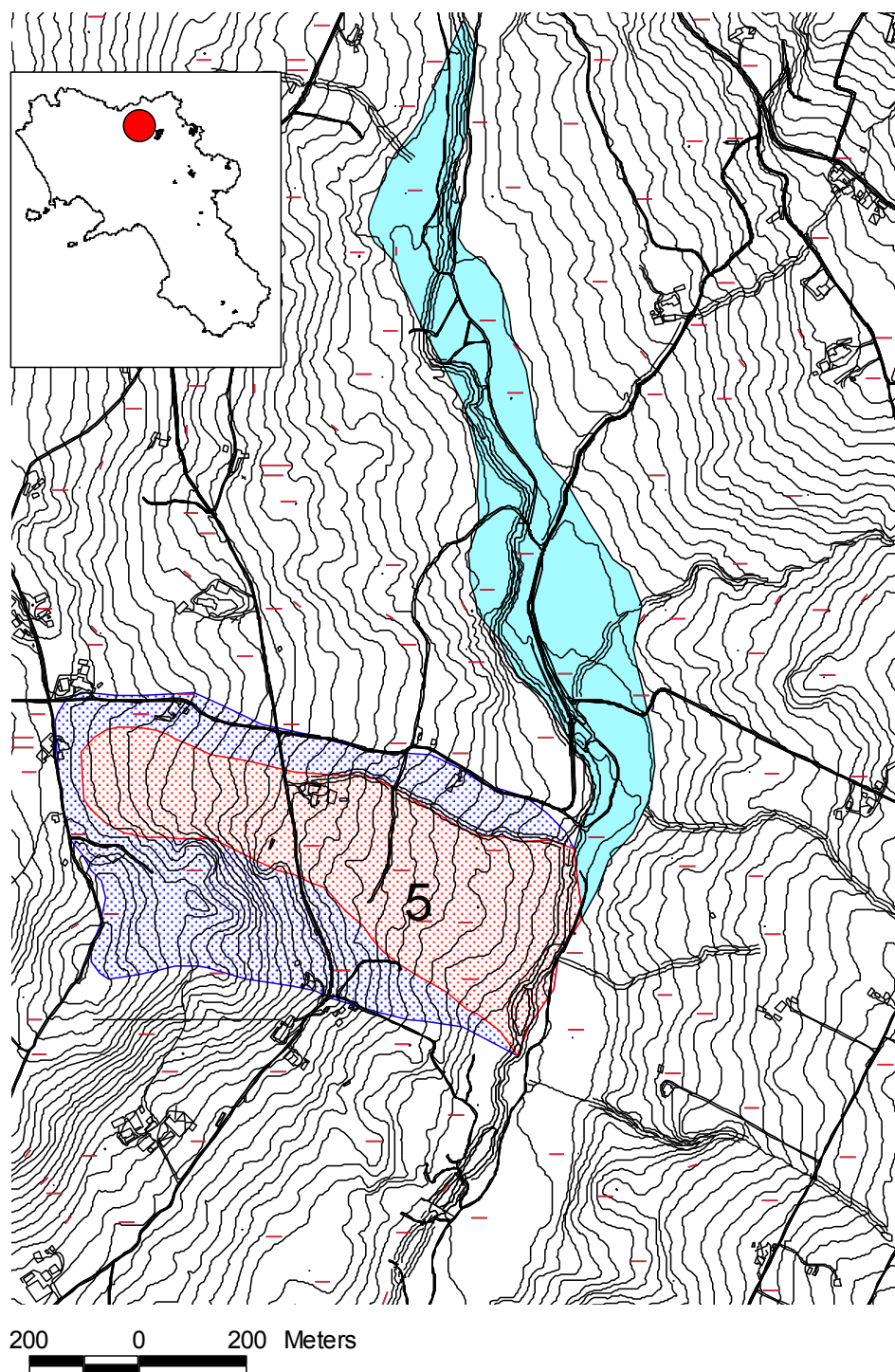
ID 1

ID 03

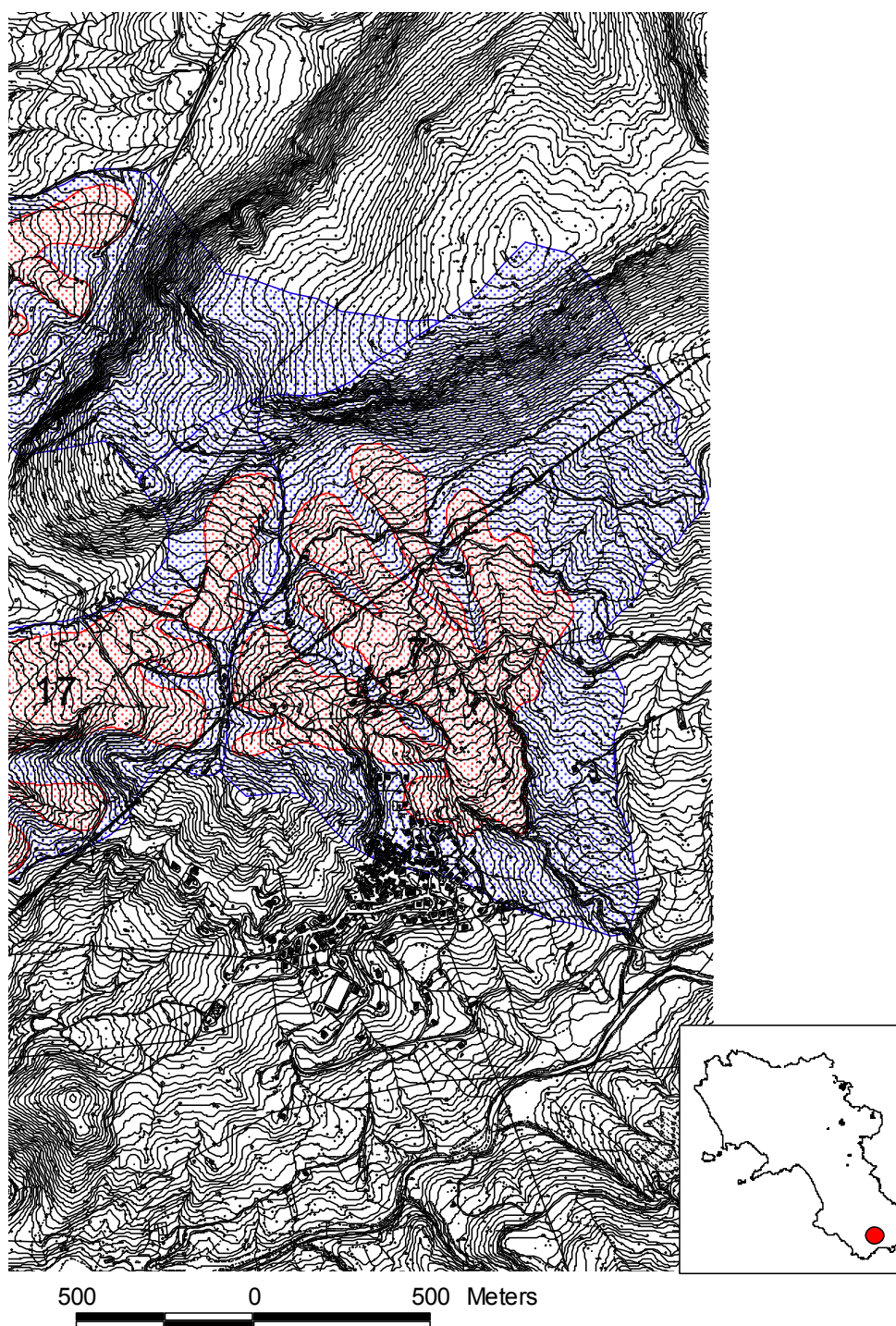




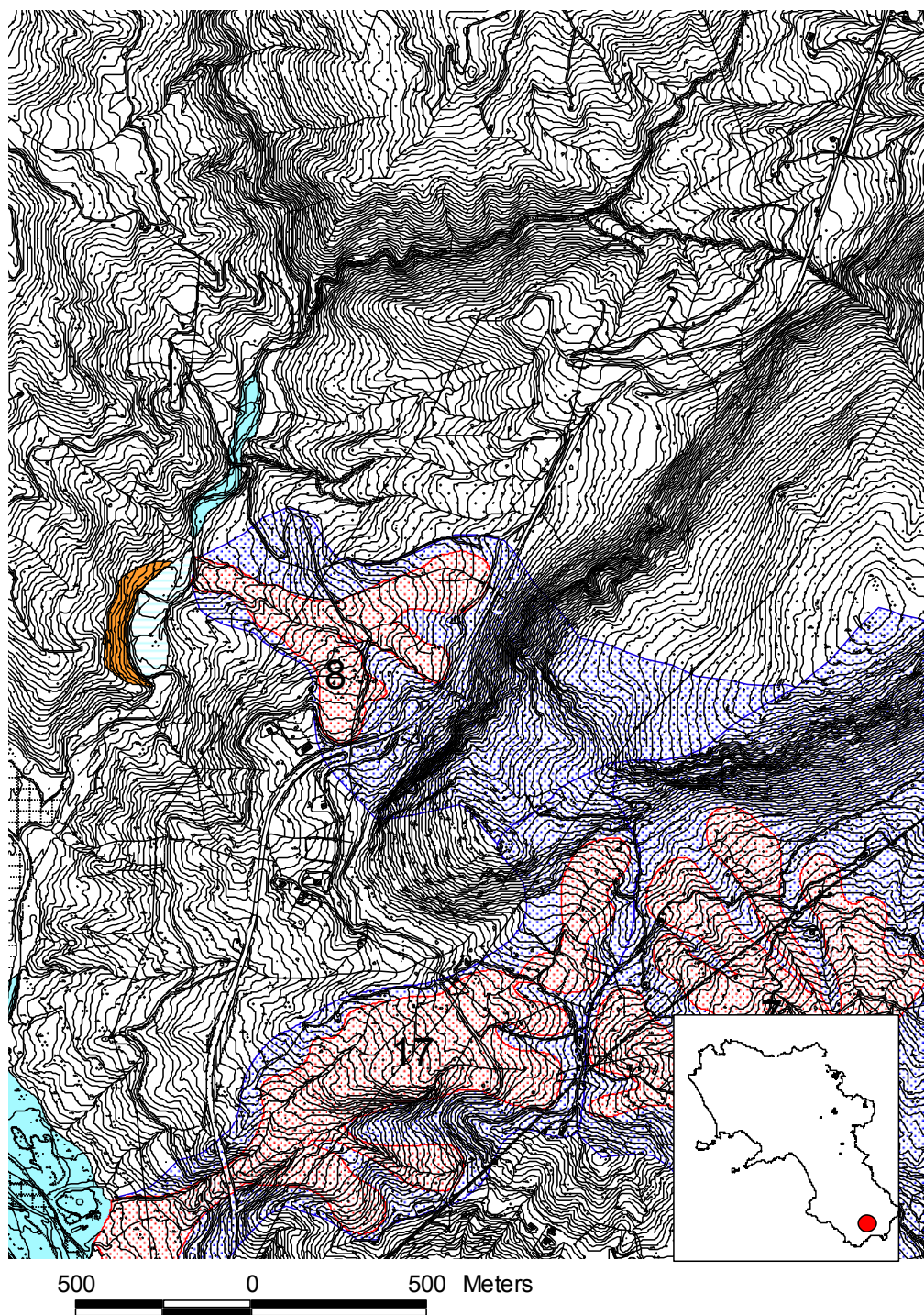
ID 04



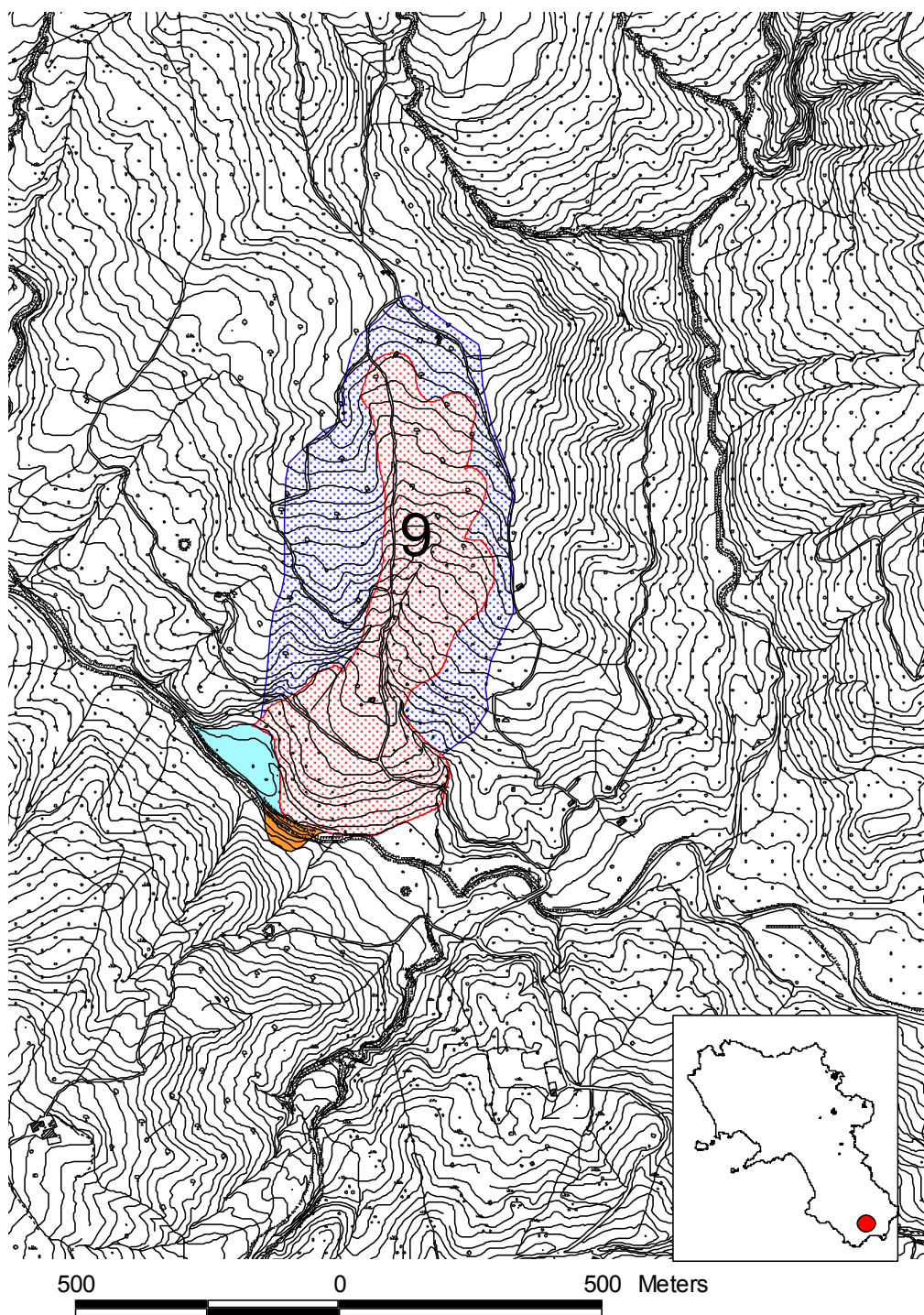
ID 05



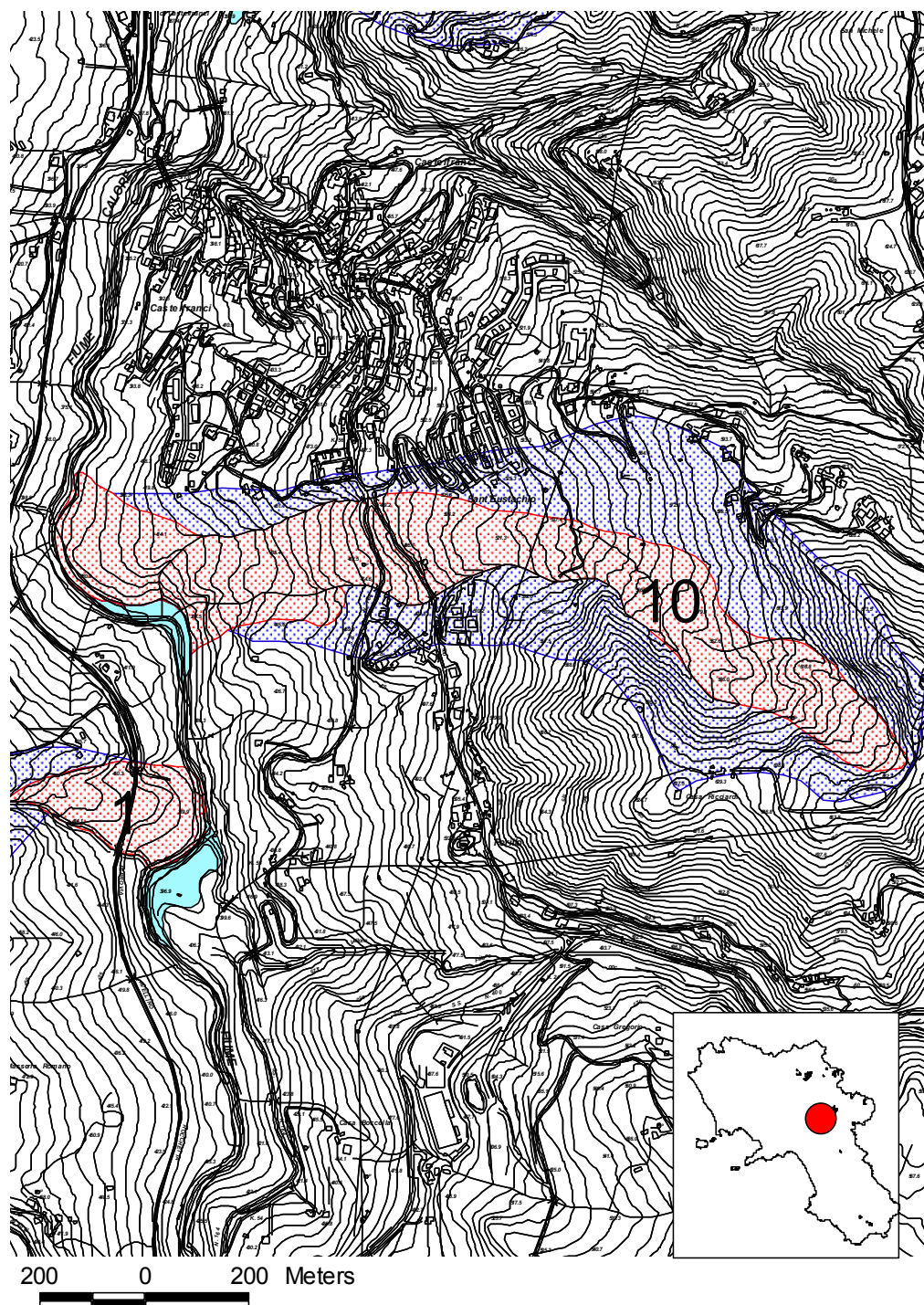
ID 07



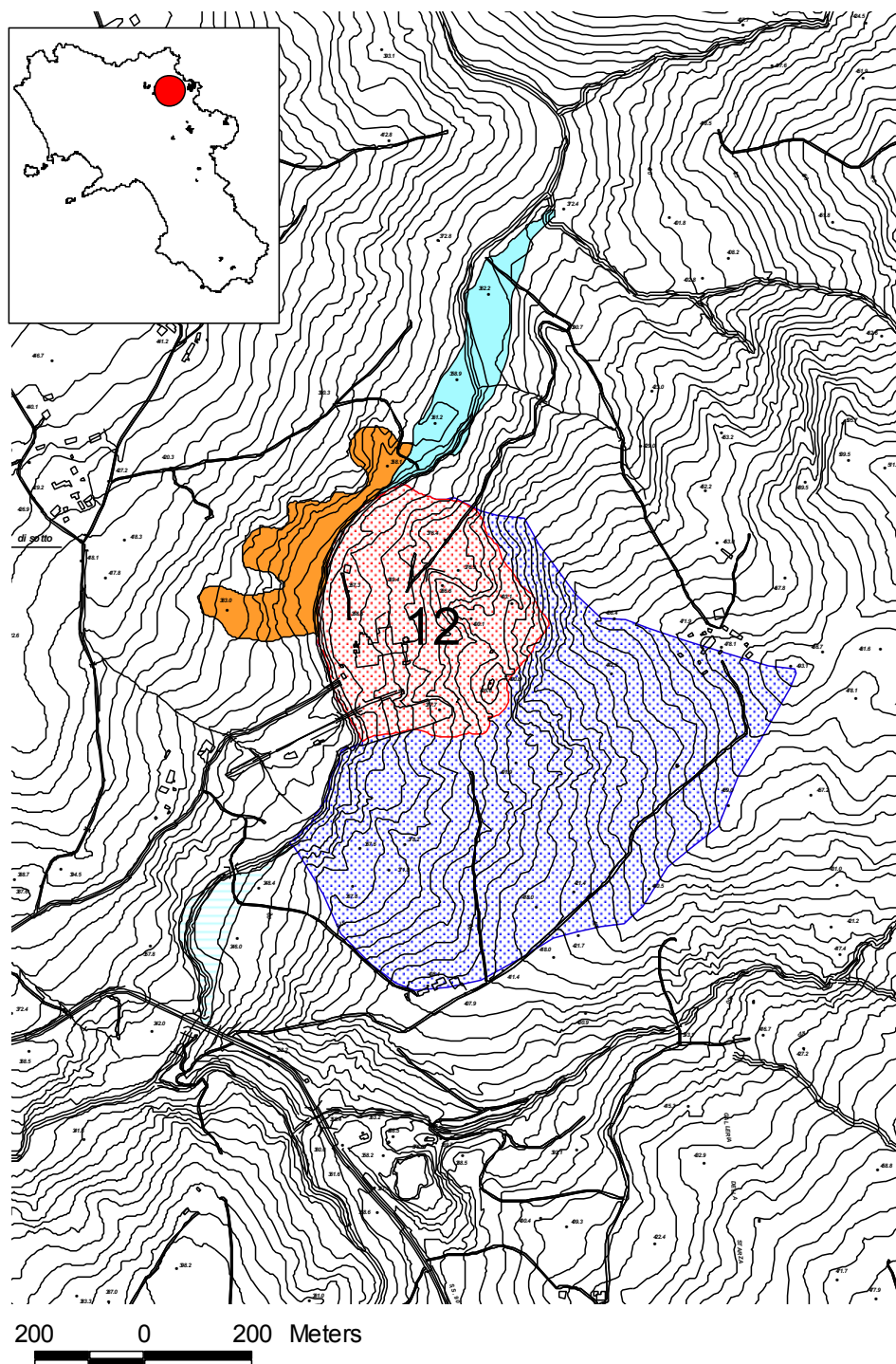
ID08



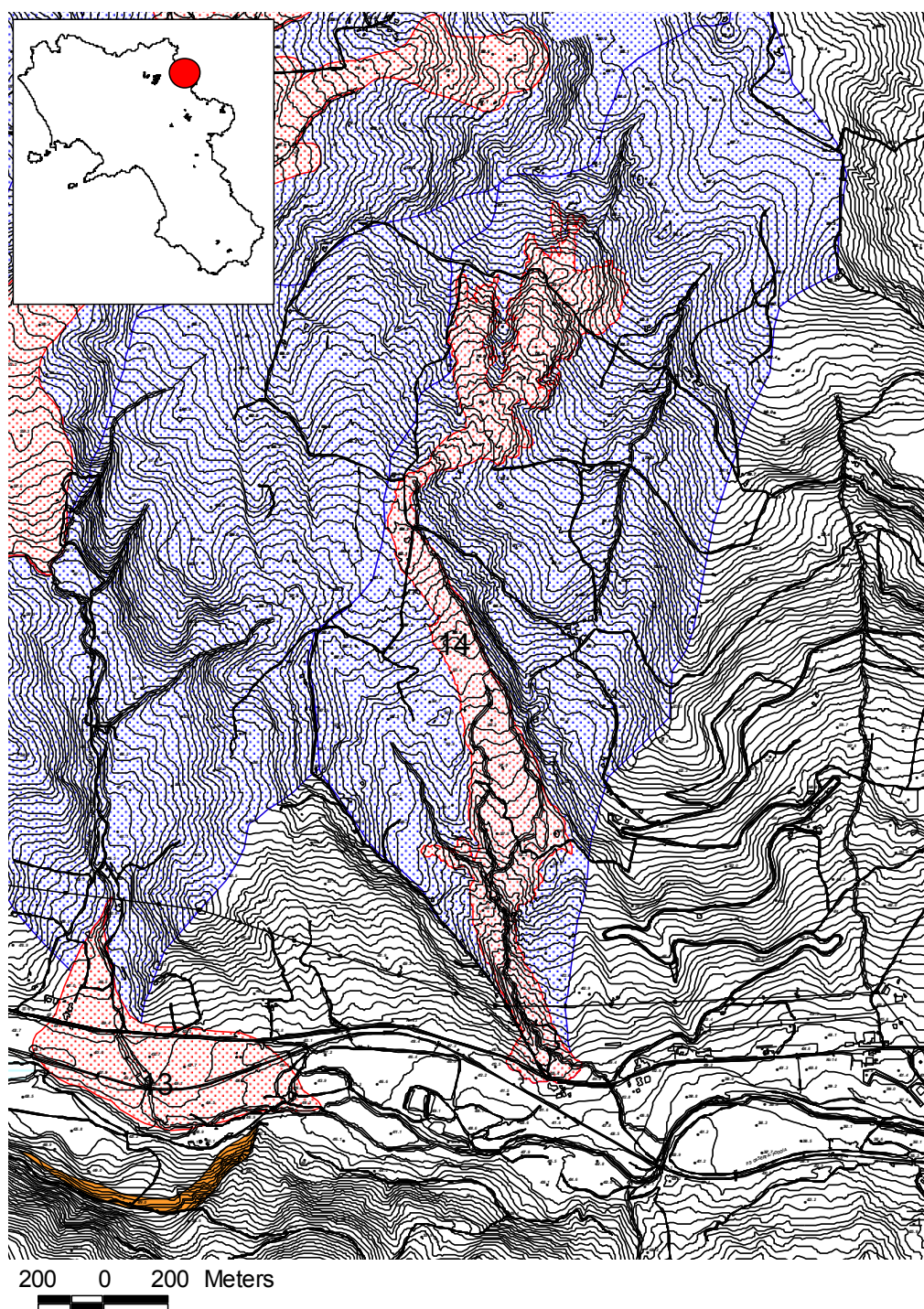
ID 09



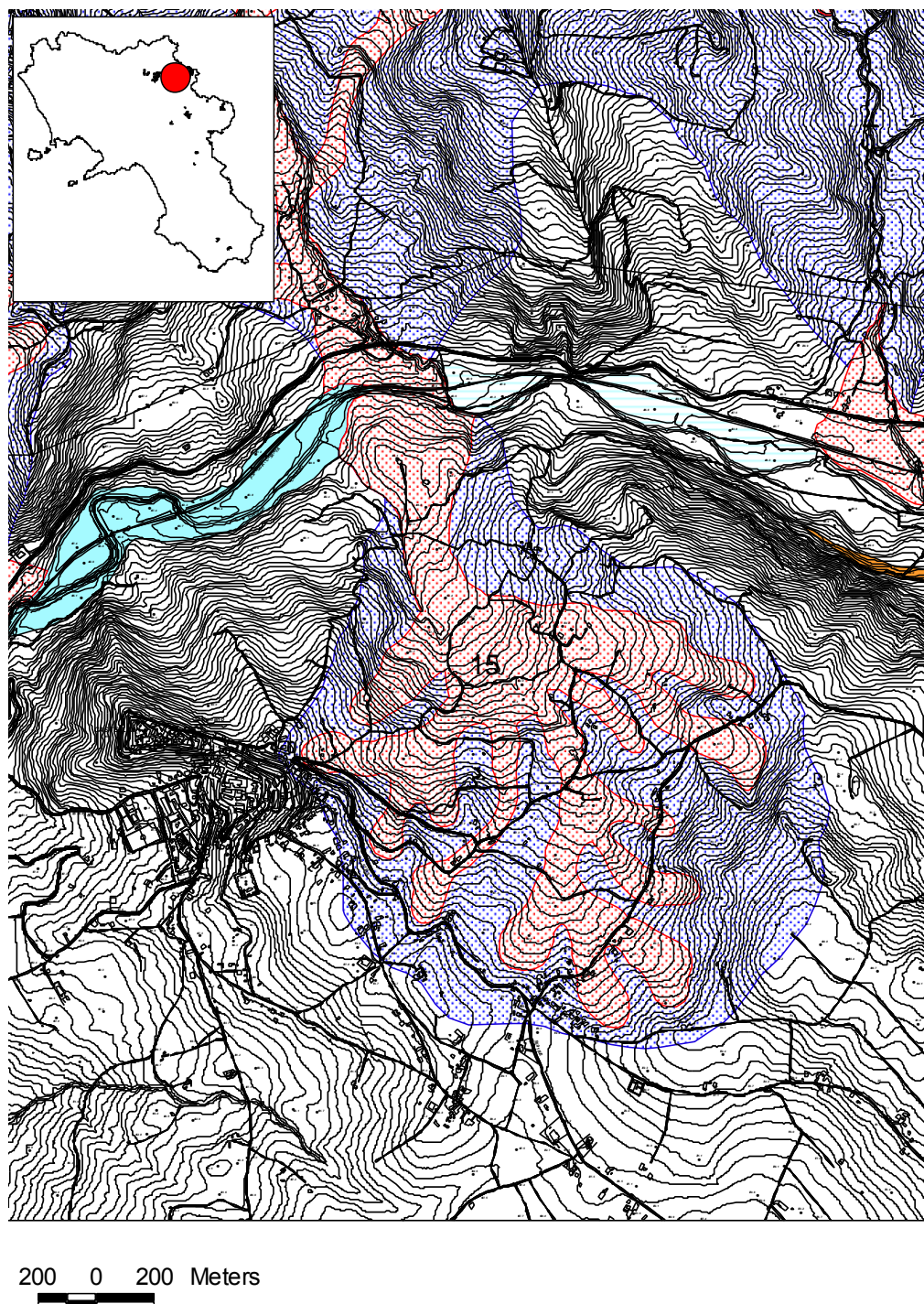
ID 10



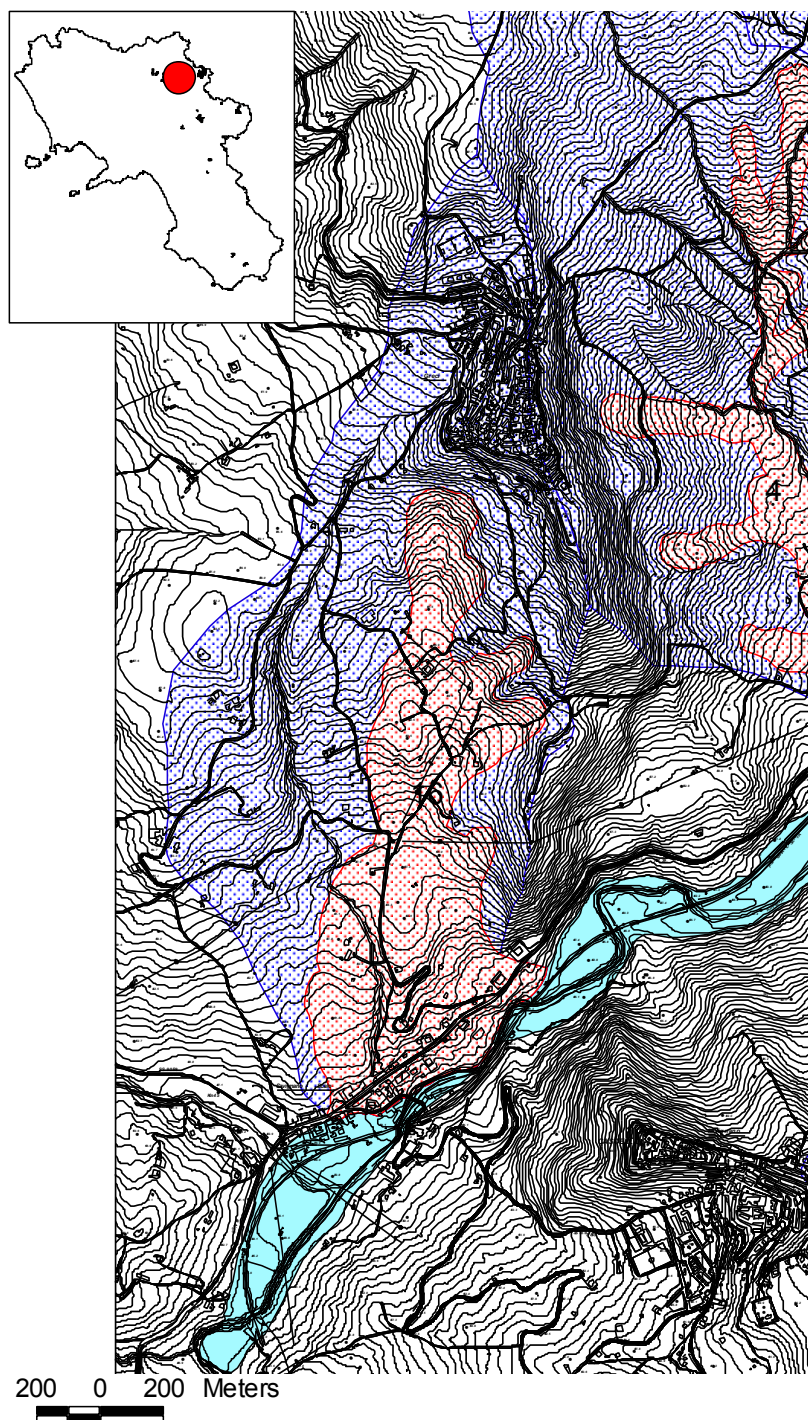
ID 12



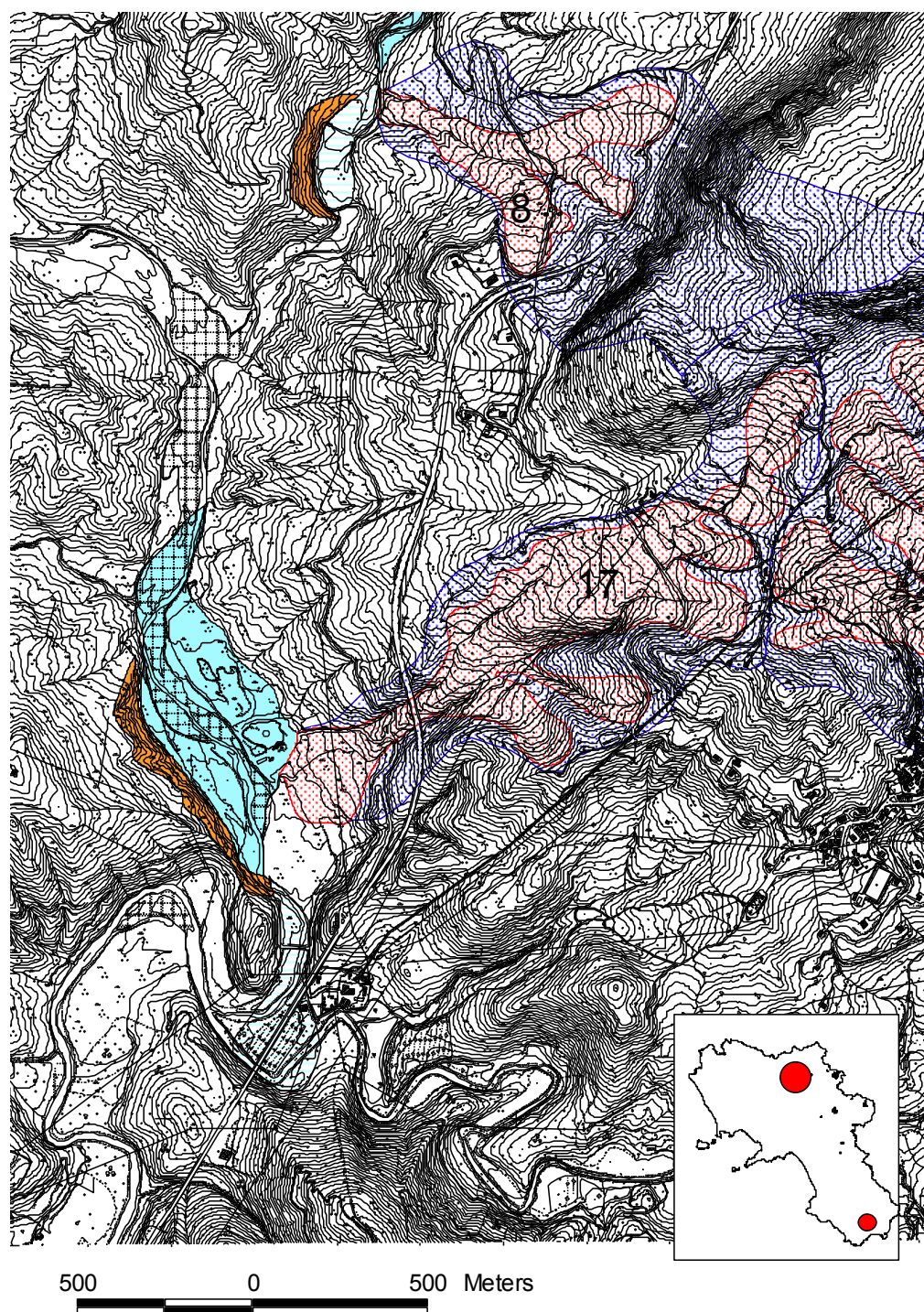
ID 14



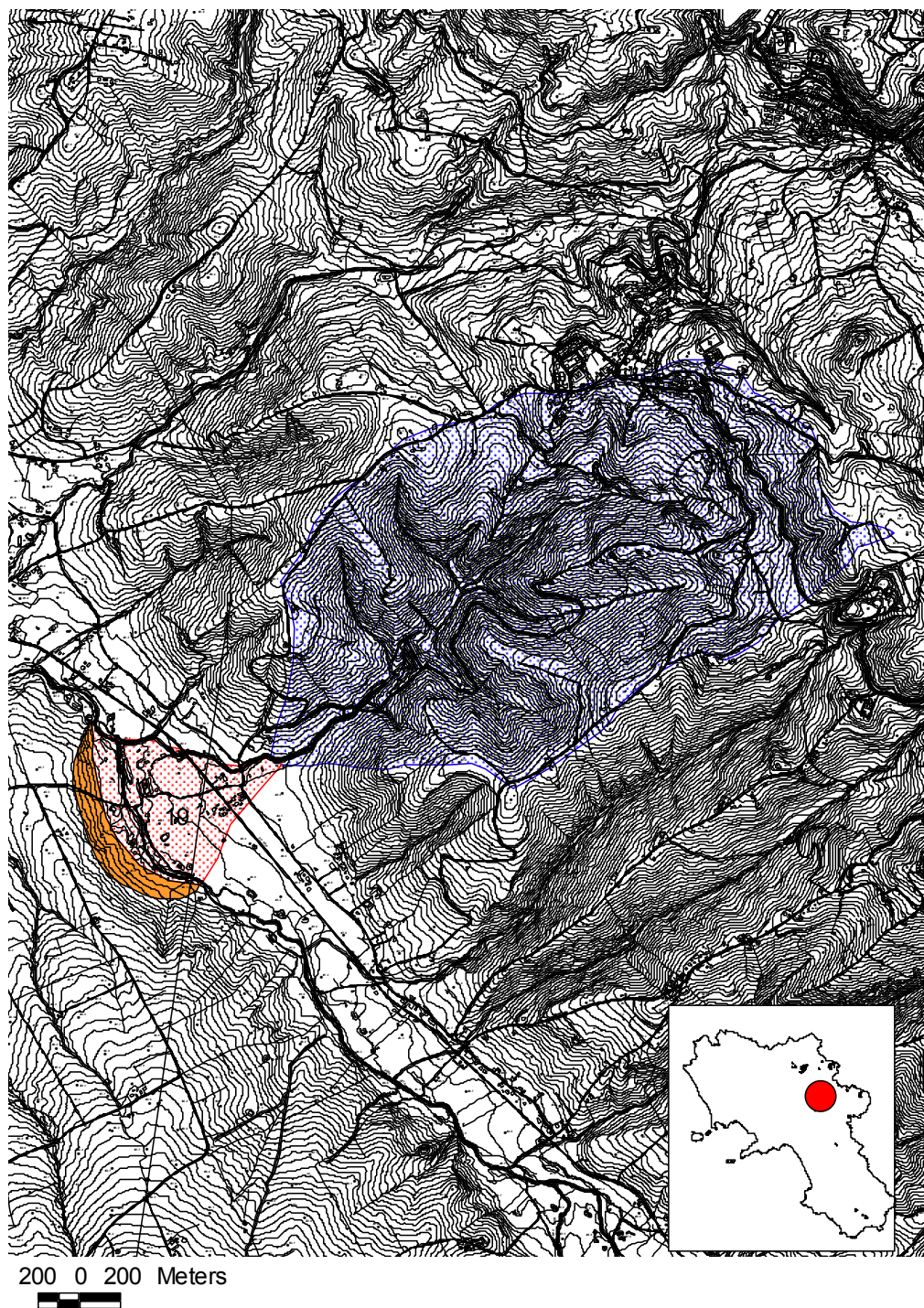
ID 15



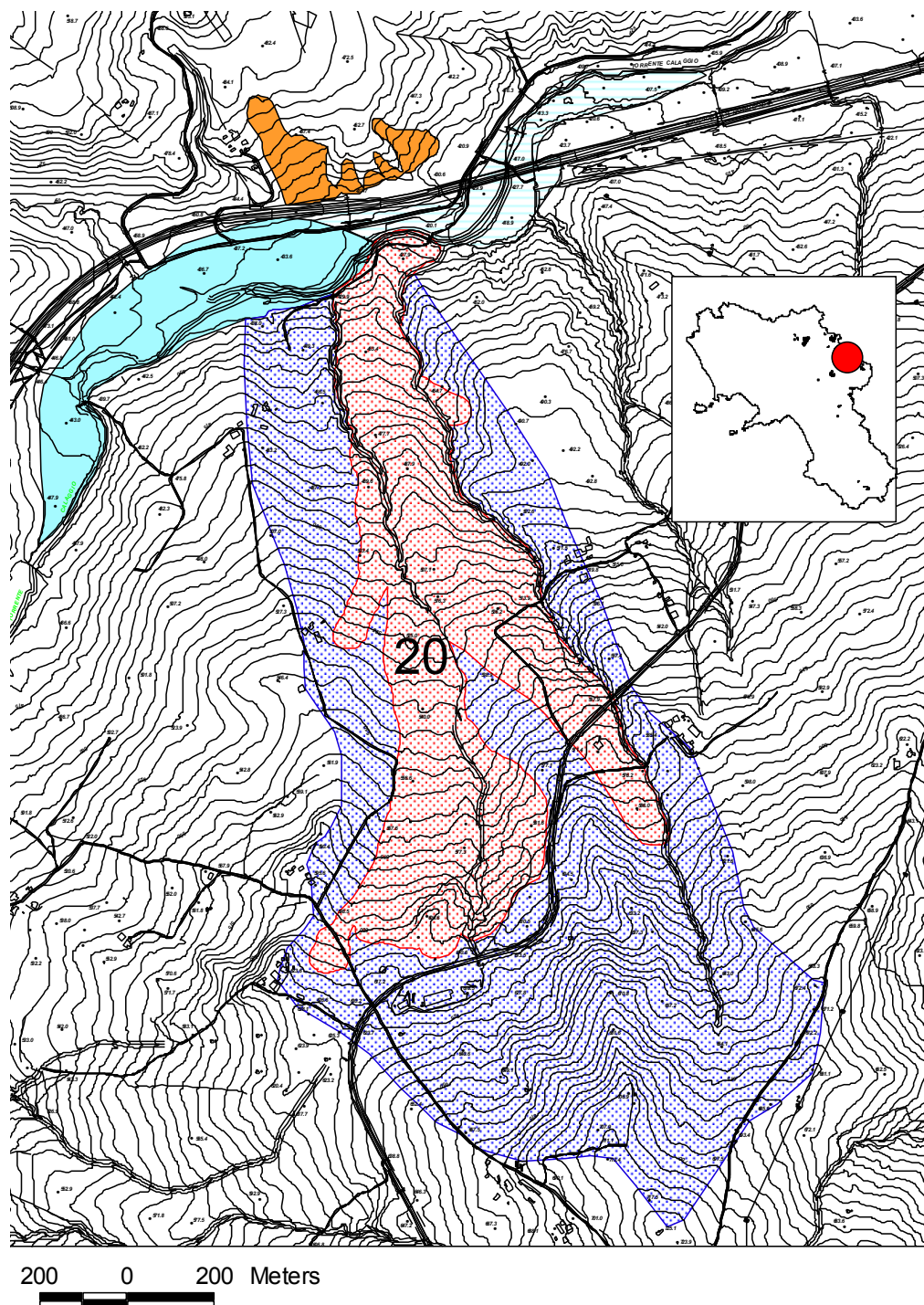
ID 16



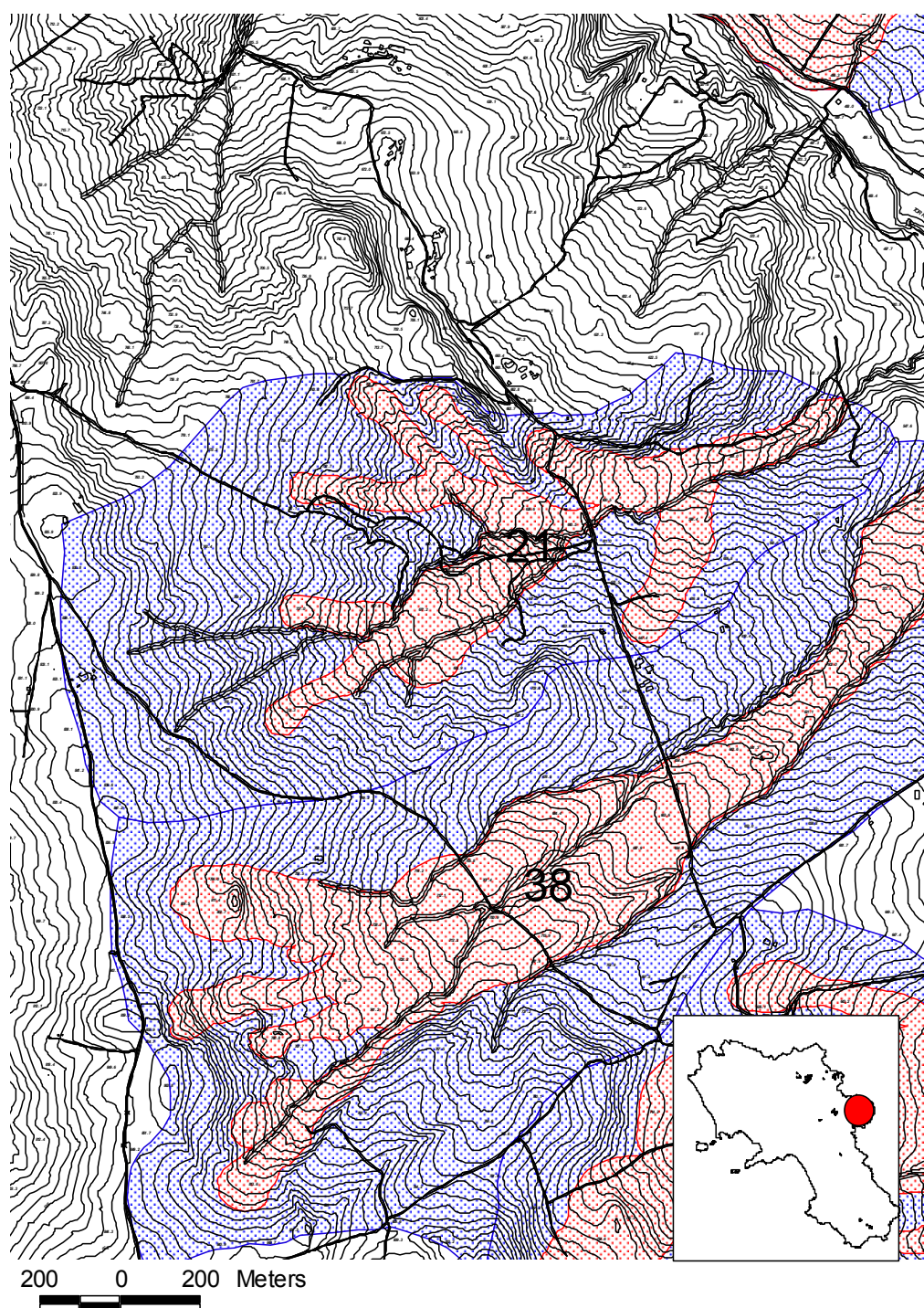
Id17



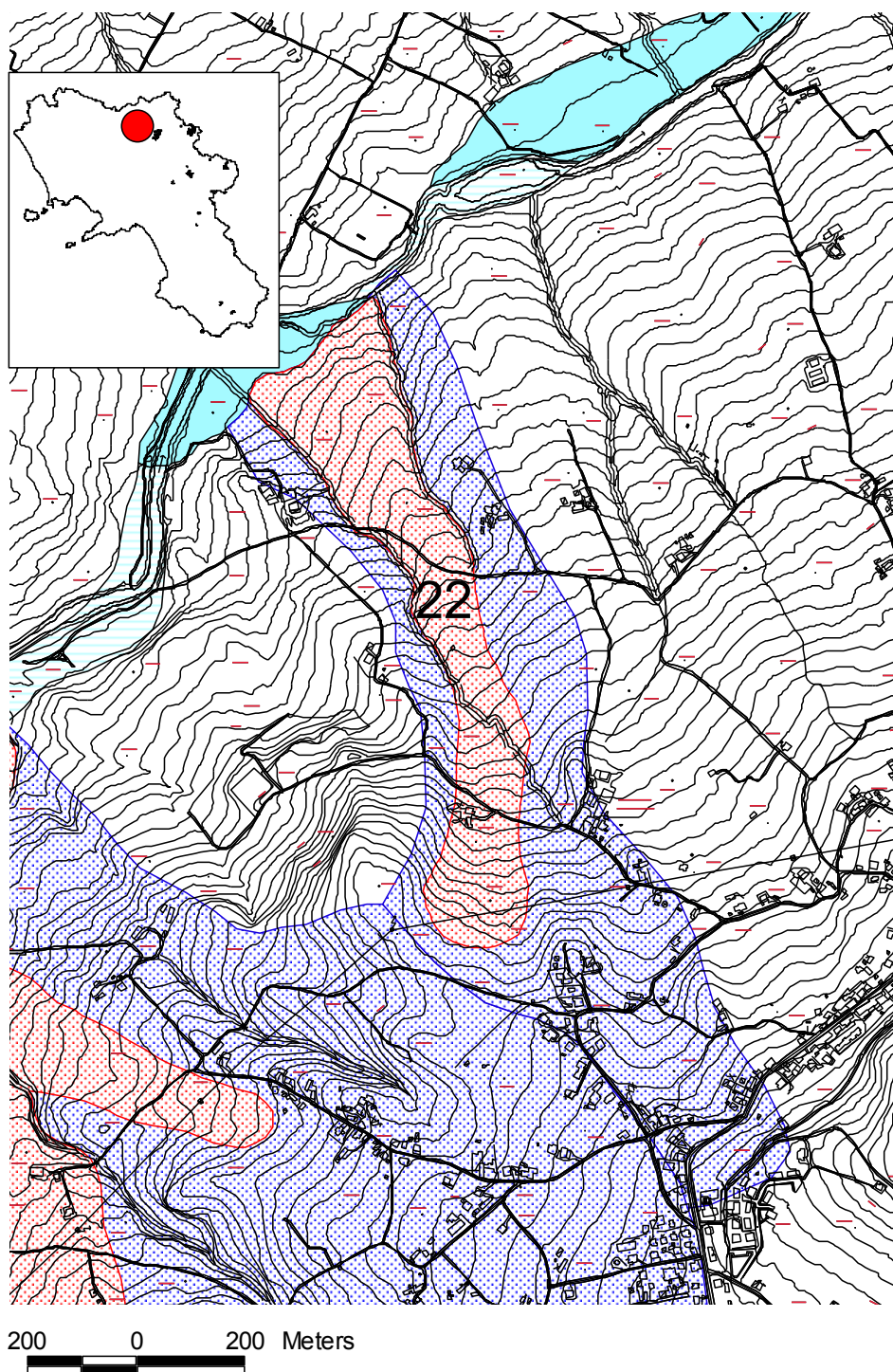
ID 19



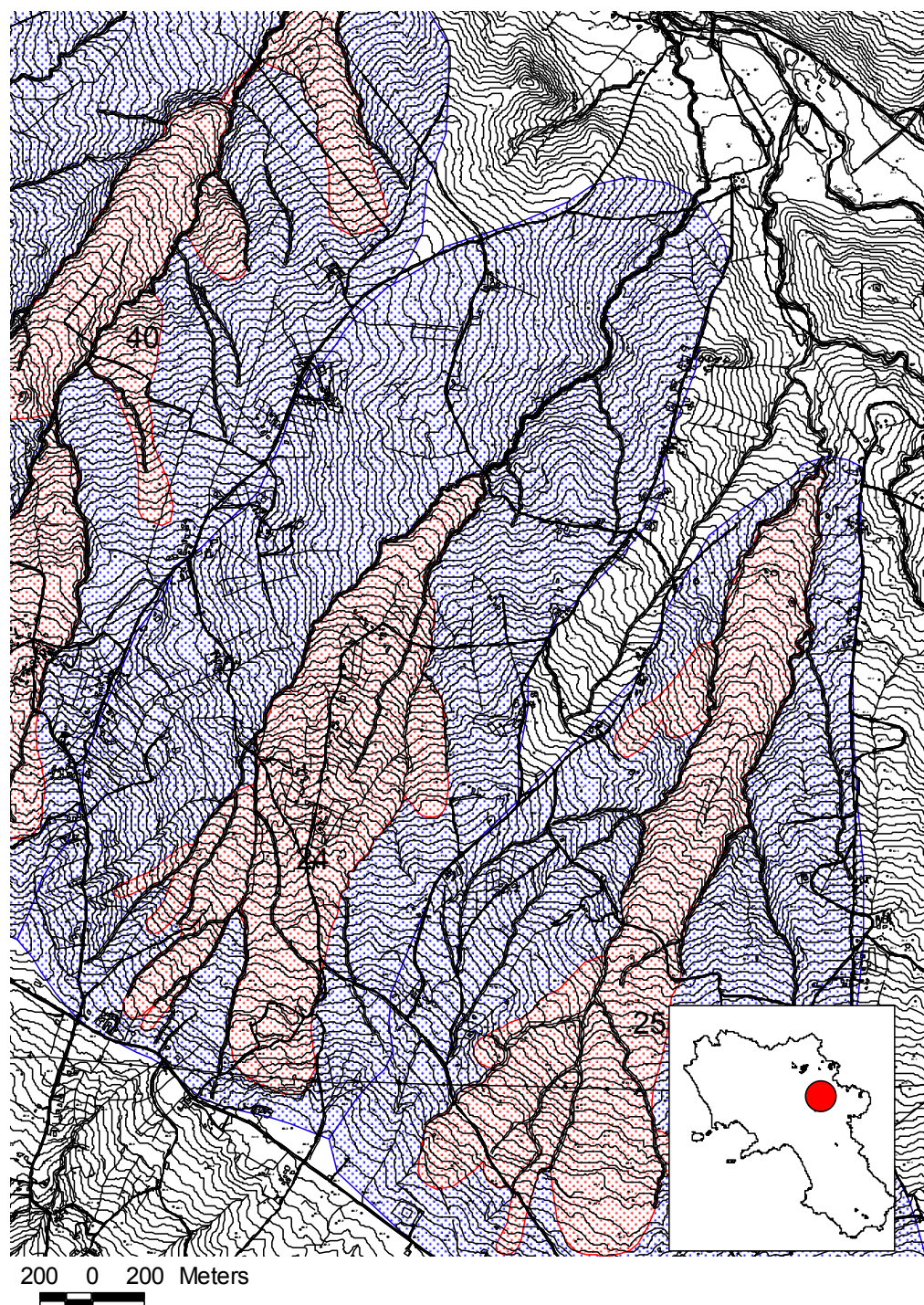
UD 20



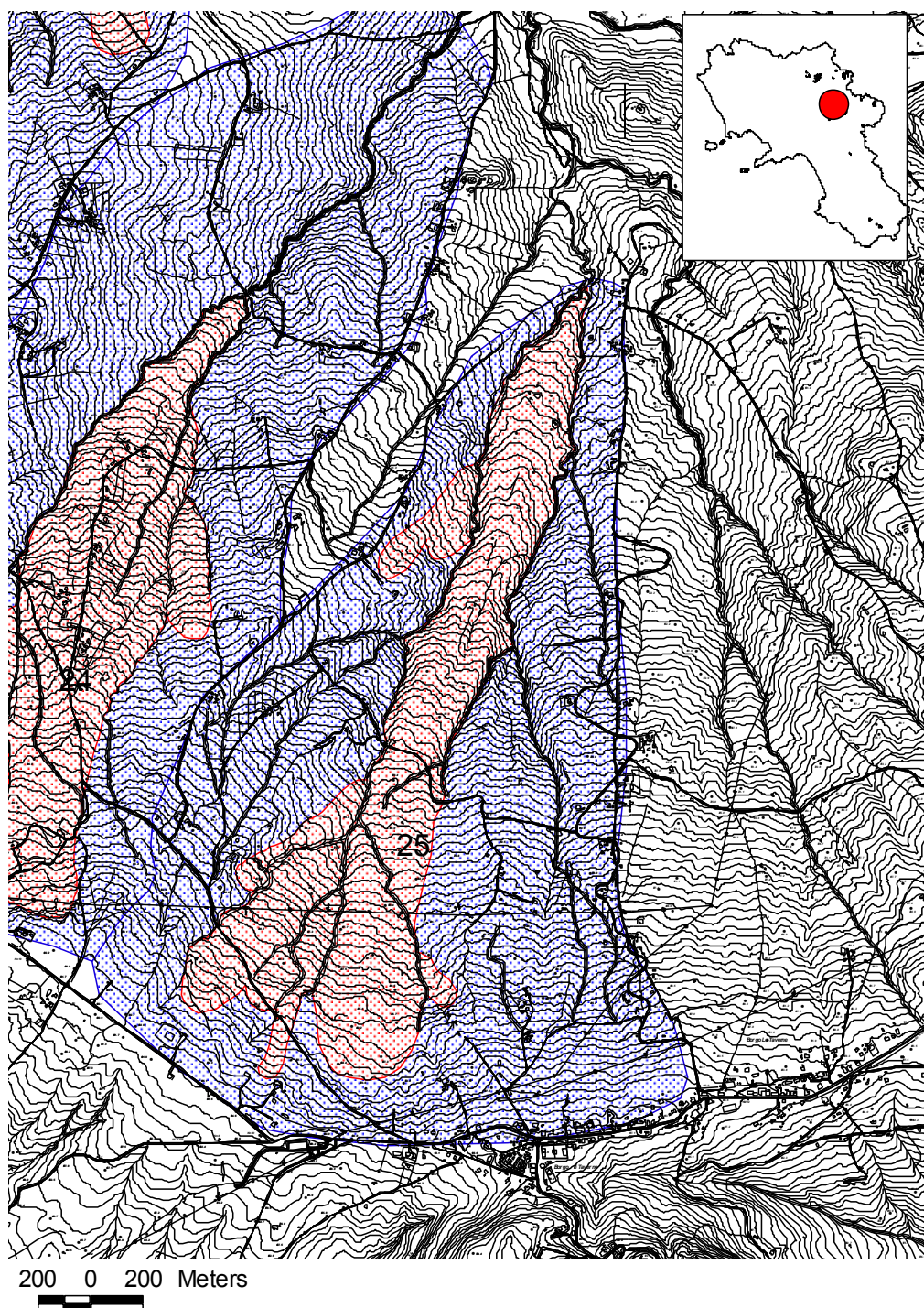
ID 21



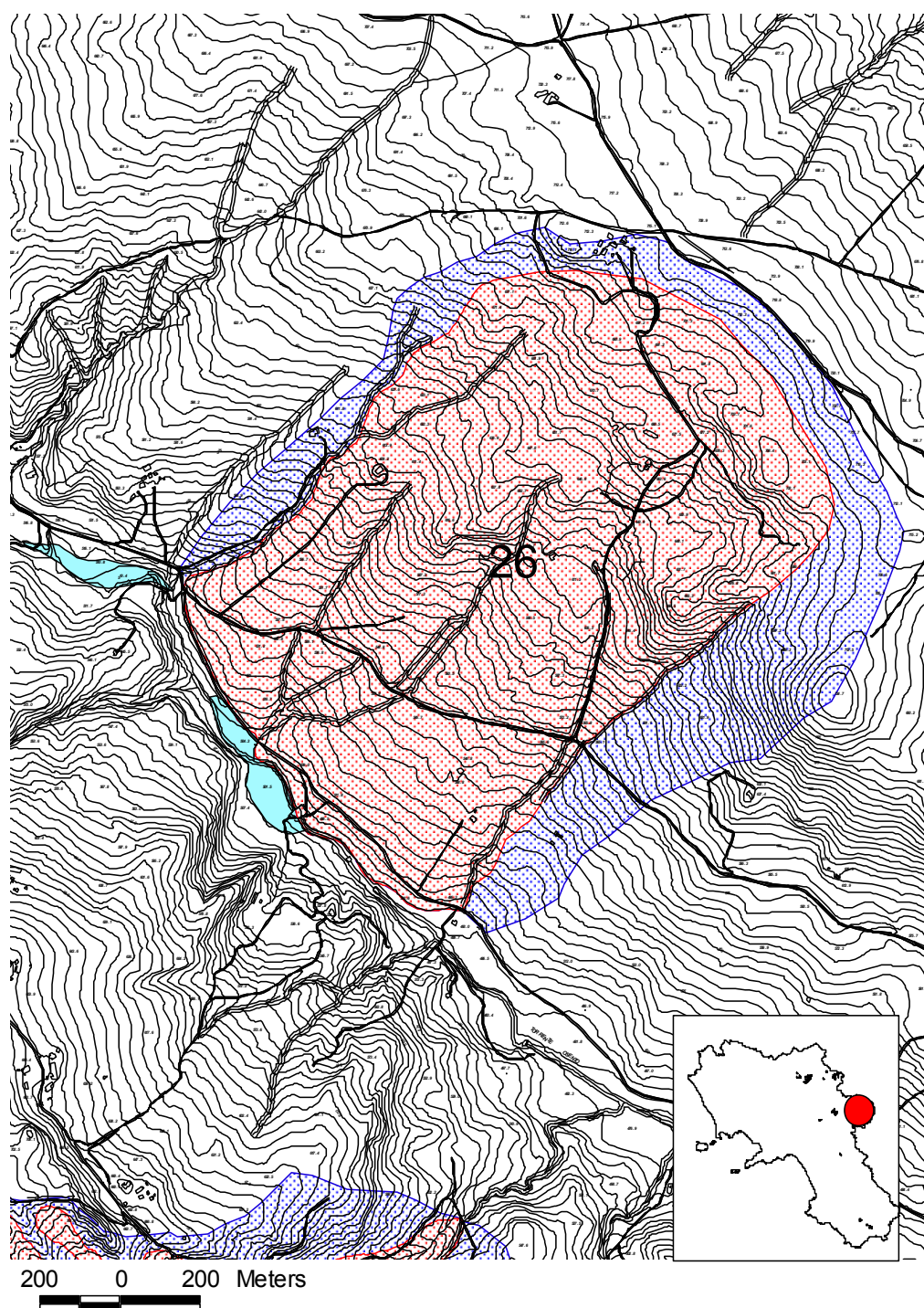
ID 22



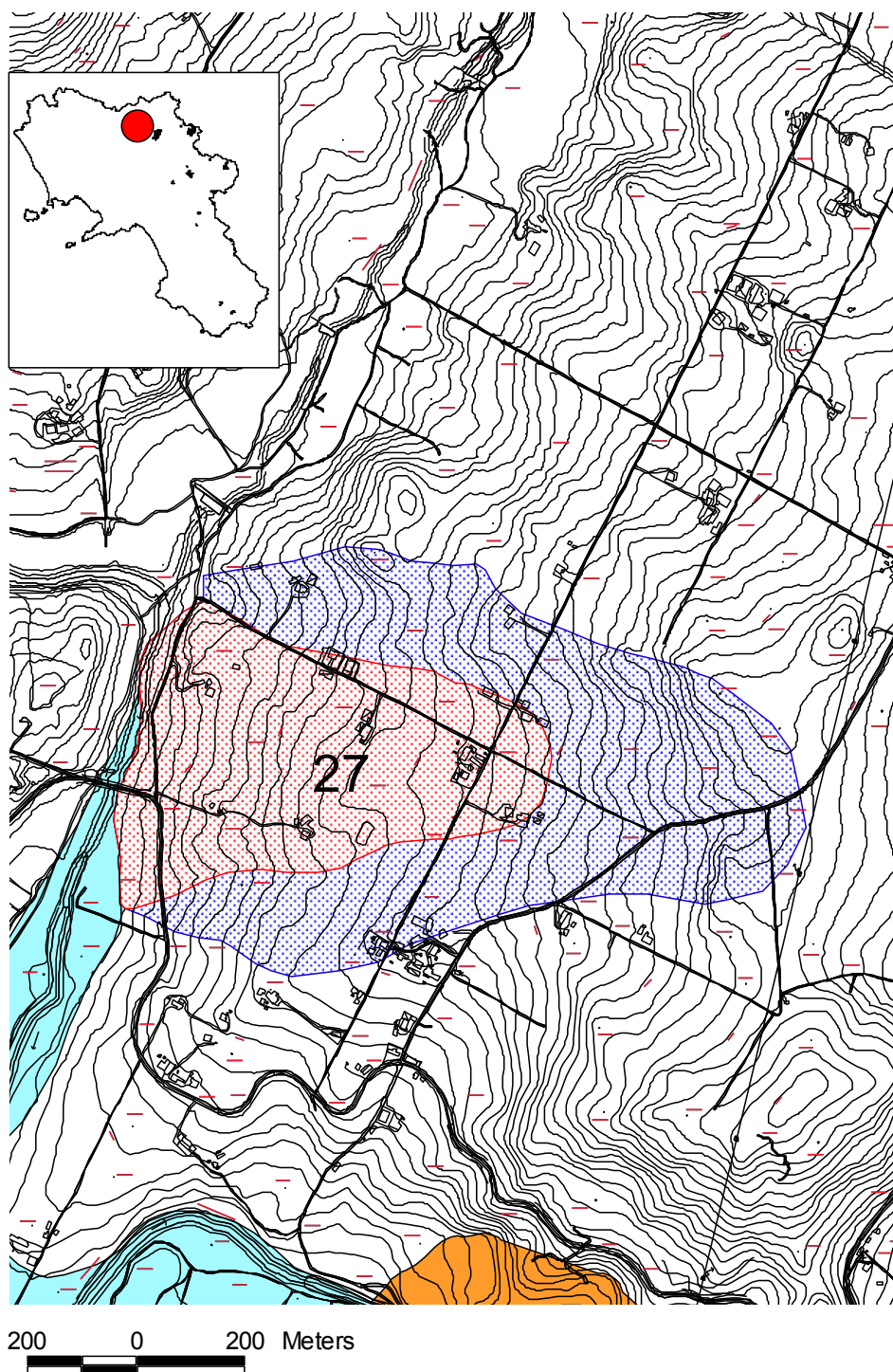
ID 24



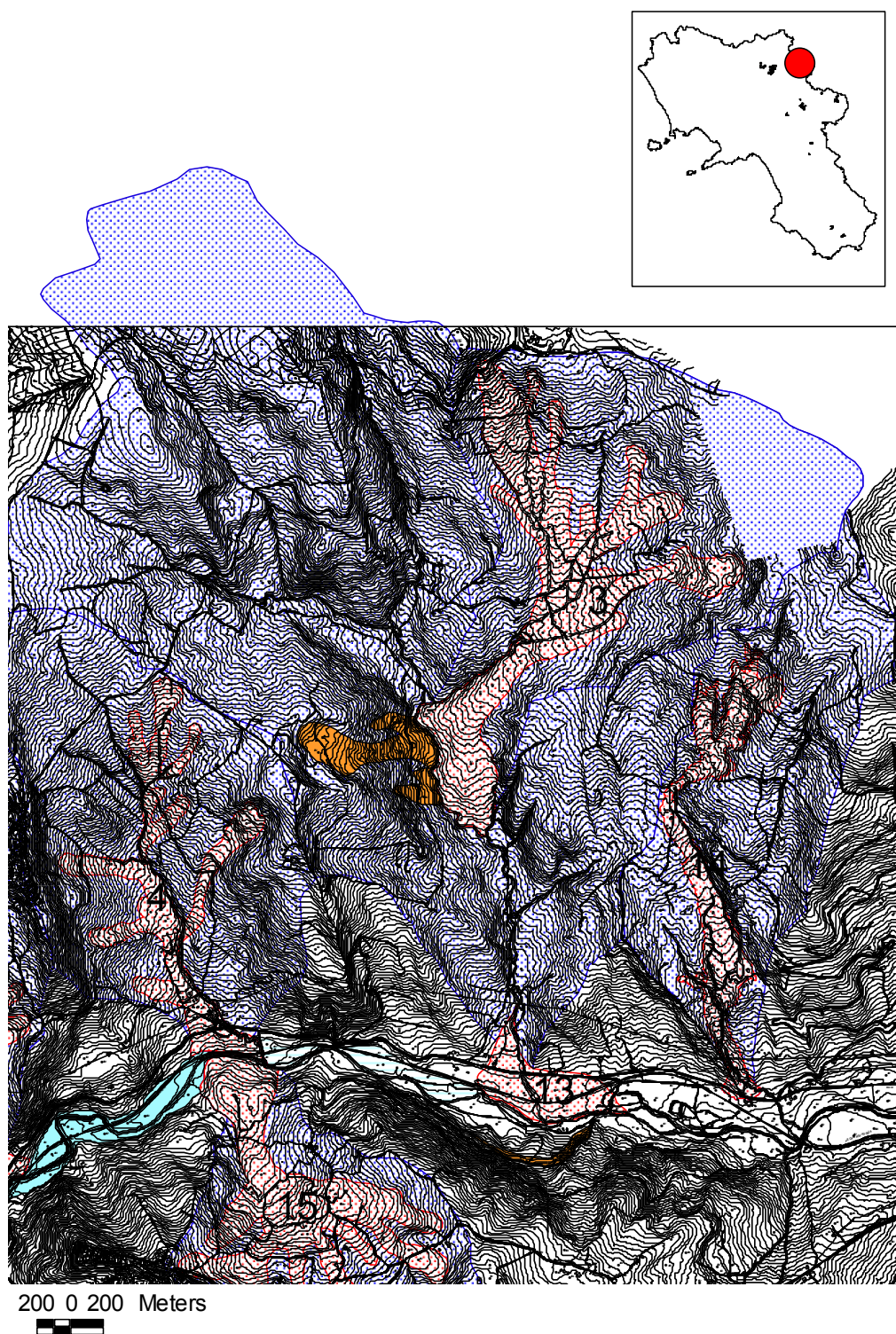
ID 25



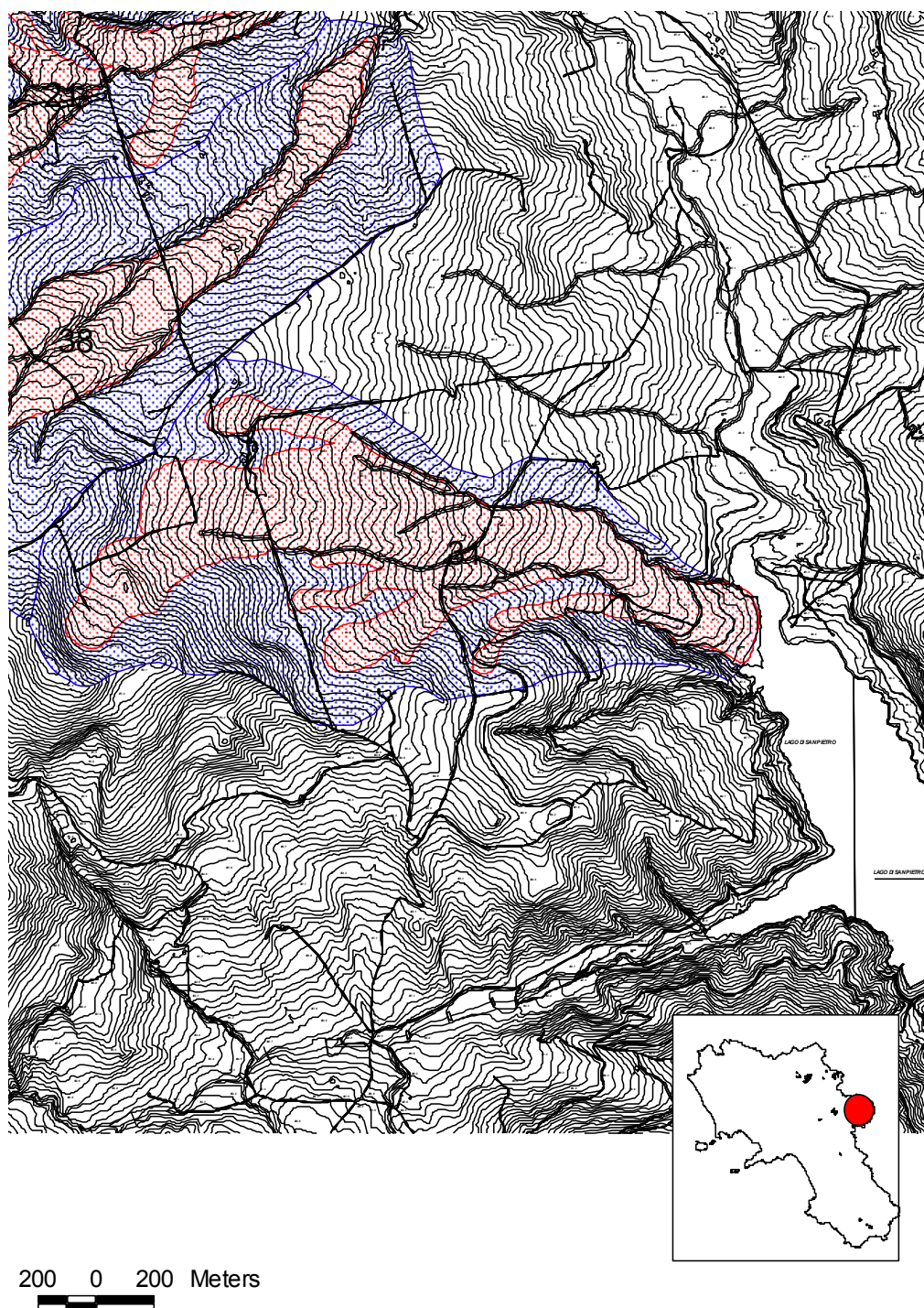
ID 26



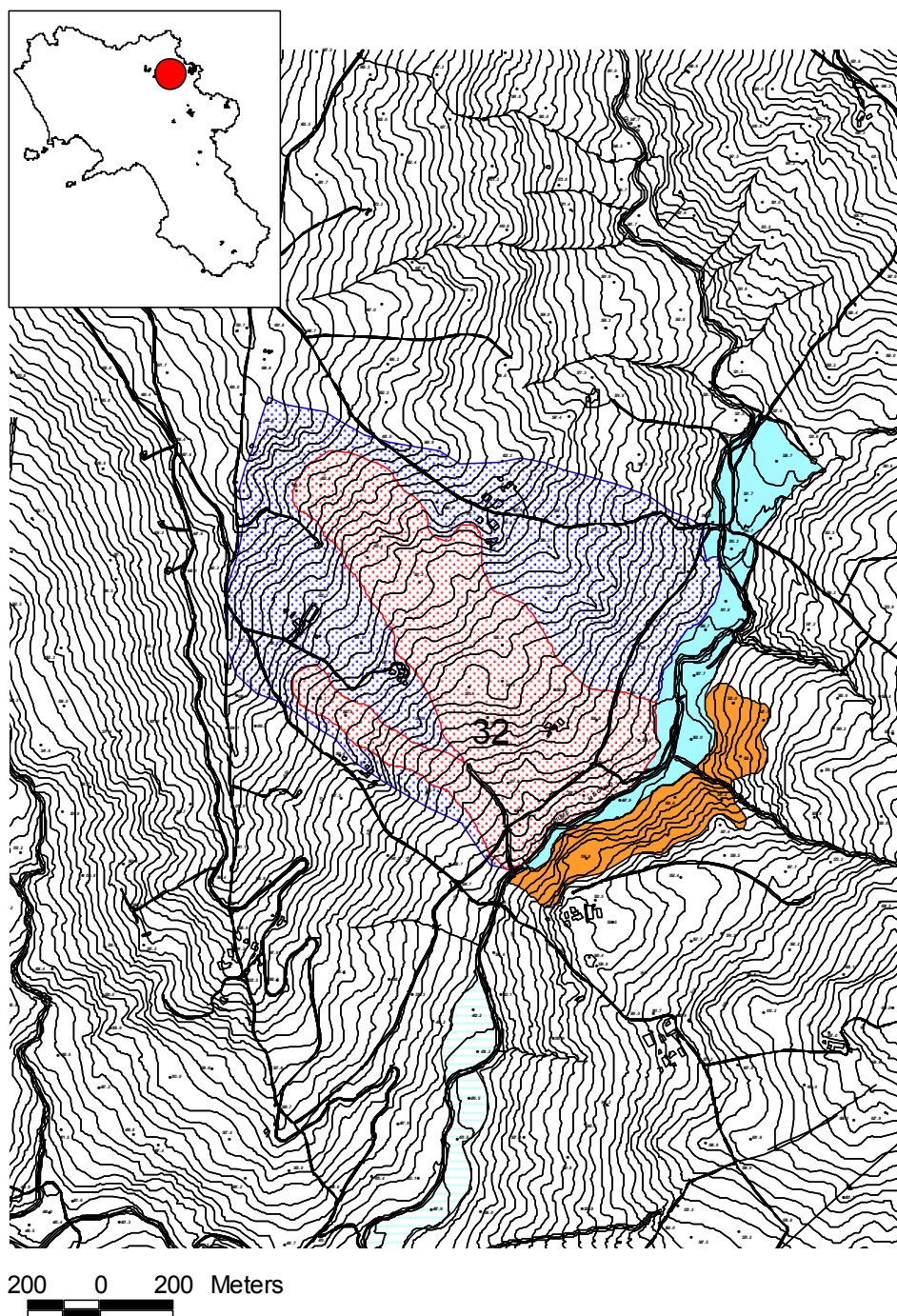
ID 27



ID 30



ID 31



ID 33

BIBLIOGRAFIA

Amanti, M., Casagli N., Catani F., D'Orefice M. & Motteran G., 1996. Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione. *Miscell. Serv. Geol. d'It.*, VII, 109 pp., Roma

Ascione A., Cinque A. 2003, Le variazioni geomorfologiche indotte dalla tettonica recente in Appennino meridionale", *Il quaternario*, 16:133-140

Arnold M., Chen R.S., Deichmann U., Dilley M., Lerner-Lam A. L., Pullen R. E, Trohanis Z. Natural Disaster Hotspots Case Studies. *Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development.*

Alford D., 2000, Flood Scenarios, in Alford, D. and Schuster, R., eds., 2000. Usi Landslide Dam and Lake Sarez—An Assessment of Hazard and Risk in the Pamir Mountains, Tajikistan. *Geneva, Switzerland, United Nations, International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) Prevention Series No. 1 (ISBN 92-1-132022-4), Chapter 6, p. 59-62.*

Bianchi Fasani G., Bianchi Fasani G., 2003. Grandi Frane in roccia: fenomenologia ed evidenze di terreno. *Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Roma "La Sapienza"*.

Bianchi Fasani G., Cardarelli E., Cercato M., Esposito C., Petitta M., Scarascia Mugnozza G. (2007): The Scanno landslide dam. In: *Evans S.G., Hermanns R., Strom & Scarascia Mugnozza G. (eds). NATO Science Series, Earth & Env. Sciences XX, Springer Publishers*

Bertoni, G. (1843) - Memoria sul lago di Quarto. Tip. delle Belle Arti, Roma, 28 pp.

Blasi C., Carranza M. L., Frondoni R., Rosati L. 2000 - Ecosystem classification and mapping: a proposal for italian landscapes. *International Journal of Applied vegetation Science*, 2:233-242.

Bonardi G., Ciarcia S., Di Nocera S., Matano F., Sgrosso I. & Torre M., 2009. Carta delle principali unità cinematiche dell'Appennino meridionale. *tal.J.Geosci. (Boll.Soc.Geol.It.)*, Vol. 128, No. 1 (2009), pp. 47-60, 2 figs., 1 pl. f.t. (DOI : 10.3301/IJG.2009.128.1.47)

Carrara ,A., Sorriso-Valvo, M., C. Reali, 1982. Analysis of landslide form and incidence by statistical techniques, Southern Italy. *CATENA. Vol. 9, Issues 1-2, , Pag. 35-62*

Carrara A., 1983. Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation. *Mathematical Geology, Vol. 15, No. 3, 1983*

Carrara A, M. Cardinali, and F. Guzzetti 1992. Uncertainty in Assessing Landslide Hazard and Risk. *ITC Journal, No. 2, pp. 172-183.*

Carrara A., M. Cardinali, R. Detti, F. Guzzetti, V. Pasqui, and P. Reichenbach 1991. GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 16, 427-445 (1991)*

Carrara A., M. Cardinali, F. Guzzetti, and P. Reichenbach, 1995. GIS Technology in Mapping Landslide Hazard, *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. A. Carrara and F. Guzzetti, editors, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 135-175.*

Pompeo Coico – Il Multirischio Idrogeologico in Regione Campania

Casagli N., & Ermini L., 1999. Geomorphic analysis of landslide dam of Northern Appennine". *Transaction of the Japanese Geomorphological Union* 20 (3), 219–249.

Casagli, N., Ermini, L., and Rosati, G. 2003. Determining grain size distribution of the material composing landslide dams in the Northern Apennines: sampling and processing methods.

Engineering Geology, 69: 83-97.

Cencetti C., Conversini P., Ribaldi C., (2001). Studio dei sistemi alveo-pianura fluviale in relazione alle interazioni con fenomeni franosi di versante. *Memorie Società Geologica Italiana* 56, 249–263.

Chandler, R. J., 1982, *Lias clay slope sections and their implications for the prediction of limiting or threshold slope angles*: *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 7, p. 427-438.

Coico P., Guida D., Lanzara R., Palmieri M., Peduto F. e Siervo V., 2007. La carta delle frane della Regione Campania: 1) Inventario. Session poster, convegno nazionale AIGEO: "Ambiente Geomorfologico ed Attività dell'Uomo: risorse, rischi, impatti", Torino, 28-30 marzo 2007.

Corbi L., De Vita P., Guida D., Guida M., Lanzara R., Vallario A. Evoluzione geomorfologica a medio termine del vallone in località Covatta (bacino del fiume Biferno, Molise). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 22, 1999

Costa, J. E (1985) - Floods from Dam Failures. *U.S. Geol. Surv. Open File Rep.* 85-560, Denver, Colorado, 54 pp.

Costa, J. E (1991) - Nature, mechanics, and mitigation of the Val Pola landslide, Valtellina, Italy, 1987-1988. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 35: 15-38.

Costa, J. E., and Schuster, R. L. 1988. Formation and Failure of Natural Dams. *Geological Society of America Bulletin*, 100(7): 1054-1068.

Costa, J.E. and Schuster, R.L. 1991. Documented historical landslide dams from around the world. *U.S.*

Geological Survey Open-File Report 91–239, 486pp.

Cotecchia V, Travaglini G, Melidoro G. 1969. I movimenti franosi e gli sconvolgimenti della rete idrografica prodotti in Calabria dal terremoto del 1783. *Geologia Applicata e Idrogeologia* 4: 1–34.

Cotecchia V, Guerricchio A, Melidoro G. 1986. The geomorphogenetic crisis triggered by the 1783 earthquake in Calabria (Southern Italy). *Proceedings of an International Symposium on Engineering Geology Problems in Seismic Areas, Bari, Potenza 13–19 April 1986. Vol. 6: 245–304.*

Crosta G. (1991) - Studio di movimenti in massa. Modellizzazione teorica e sperimentale con osservazioni e rilievi di campagna. *PhD Thesis, Univ. Studi di Milano*, 137 pp.

Crosta G.B., Imposimato S. & Roddeman D.G. (2003) - Numerical modelling of large landslides stability and runout. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3 (6): 523-538.

Crosta G.B., Chen H. & Lee C.F. (2004) - Replay of the 1987 Val Pola Landslide, Italian Alps. *Geomorphology*, 60 (1-2): 127-146.

Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Spec. Rep.*, vol. 247. Nat. Res. Counc., Washington, DC, pp. 36–75.

De Pippo T., Guida D., Lanzara R., Siervo V., Valente A., 2007. Criteri, metodi e procedure innovativi per la redazione di cartografia geomorfologica gerarchica multiscalar: proposte operative in ambiente gis; *convegno nazionale Aigeo: "Ambiente Geomorfologico ed Attività dell'Uomo: Risorse, Rischi, Impatti, Torino, 28-30 marzo 2007*

Dilley M., Chen R.S., Deichmann U., Lerner-Lam A. L. and Arnold M., 2005. Natural Disaster Hotspots A Global Risk Analysis. *Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development*.

Dramis F., Guida D. Cestari A. 2010. Nature and aims of geomorphological map: the Salerno University perspective. *Geomorphological Mapping, Volume 15: Methods and Applications (Developments in Earth Surface Processes)*. Eeditors Smith M., Paron P. & Griffiths J.

F.C. Dai, C.F. Lee, J.H. Deng, L.G. Tham, 2005. The 1786 earthquake-triggered landslide dam and subsequent dam-break flood on the Dadu River, southwestern China. *Geomorphology* 65, 205–221

Ermini L., 2003. Gli sbarramenti d'alveo da frane: criteri speditivi per la stesura di scenari evolutivi derivanti dalla loro formazione. *AIGA - I° Convegno Nazionale*, 355–367.

Ermini L., & Casagli. N., 2003. Prediction of the behaviour of landslide dams using a geomorphological dimensionless index. *Earth Surface Processes and Landforms* 28, 31–47.

Korup O., 2004. Geomorphometric characteristics of New Zealand landslide dams. *Engineering Geology* 73, 13–35.

Korup O., 2005. Geomorphic hazard assessment of landslide dams in South Westland, New Zealand: Fundamental problems and approaches. *Geomorphology* 66, 167–188.

Gorsevski P.V., P.E. Gessler, and R.B. Foltz 2000. Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Logistic Regression and GIS. *4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs. Banff, Alberta, Canada, September 2 - 8, 2000*.

Guida, D., Iaccarino, G. e Perrone, V., 1988a. Nuovi dati sulla successione del Flysch del Cilento a M. Centaurino: relazioni fra Unità Litostratigrafiche, Unità Litotecniche e principali Sistemi franosi. *Mem. Soc. Geol.* 41.

Guida, D., Guida, M., Iaccarino, G., Perrone, V., Sgrosso, I., Vallario, A., 1988b. Tipologia e diffusione delle Deformazioni Gravitative profonde di Versante nell'Appennino

Campanolucano Meridionale in relazione all'assetto stratigrafico-strutturale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, 889-896, 2ff.

Guida D., Iaccarino, G., 1991. Fasi evolutive delle frane tipo colata nell'alta valle del fiume Basento (Potenza). *Studi trentini di Scienze naturali*, vol. 68, "Acta Geol., Trento.

Guida, D., Iaccarino, G., Lanzara, R., Peduto, F., 1995. Proposta di classificazione tassonomica dei fenomeni franosi. Giornate poster sulle ricerche del Gruppo Geomineralogico, *V Conferenza Scientifica Annuale del Dipartimento di Scienze della Terra, Università "Federico II", Napoli*.

Guida, D., Guida, M., Lanzara, R., Vallario, A., 1994, Proposte metodologiche e procedurali di pianificazione del territorio in aree protette: l'Unità Territoriale di Riferimento. *Geologia Tecnica e Ambientale*, luglio-settembre.

Guida D., Siervo V., 2007. Applicazioni Del Riconoscimento Semi-Automatico Delle Landforms. *Convegno Nazionale Aigeo "Aspetti geomorfologici dell'area mediterranea"*, Bari.

Gullà G., Antronico L., Sorriso –Valvo M. & Tansi C. Proposta metodologica per la valutazione di indicatori di pericolo e rischio da frana a scala intermedia: l'area della stretta di Catanzaro (Calabria, Italia). *Geologica Romana* 38 (2005), 97-121

Morrison, D. F., 1967. Multivariate statistical methods. *McGraw-Hill Book Company, New York* 1967. XIII + 338 S., 15 Abb., 32 Fig.

Nicoletti P.G., Iovine G. & Catalano E. (2000) - Frane e sbarramenti fluviali di antica origine sismica in Sicilia sud-orientale - IV Parte: Ricognizione sul Foglio 273 - Caltagirone e conclusioni generali. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 119, 451-472.

Nicoletti P.G., Parise M. Seven landslide dams of old seismic origin in southeastern Sicily (Italy). *Geomorphology* 46 (2002) 203–222.

Nicoletti, P.G., Parise, M. e Miccadei, E., 1993. The Scanno rock avalanche (Abruzzi, South-Central Italy), *Boll. Soc. Geol. It.*, vol. 112, pp. 523-535.

Pirocchi A., 1992. Laghi di sbarramento per frana nelle Alpi: tipologia ed evoluzione. *Atti I convegno Nazionale Giovani Ricercatori in Geologia Applicata* 93, 128 – 136.

Schuster, R.L., 1986. Landslide Dams: Processes, Risk, and Mitigation. *Geotechnical Spec. Publ.*, vol. 3. *American Society of Civil Engineering, New York*, 164 pp.

Schuster, R.L., 1993. Landslide Dams—A Worldwide Phenomenon. *Proc. Annual Meet. Kansai Landslide Society, Osaka*, pp. 1– 23

Schuster, R.L., 2000. Dams built on pre - existing landslides. *Proceedings GeoEng 2000, Int. Conf. on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne*, vol. 1. *Technomic, Lancaster*, pp. 1537–1589

Schuster RL. 2000. Outburst debris flows from failure of natural dams. *Proceedings of the 2nd International Conference on Debris-Flow Hazard Mitigation, Taipei, 16–18 August 2000*.

Schuster RL. 2002. Usoi landslide dam, South-eastern Tajikistan. *Proceedings of the International Symposium on Landslide Risk Mitigation and Protection of Cultural and Natural Heritage, Kyoto, Japan, 21–25 January 2002. UNESCO IGCP-425*.

Sidle R.C., Pearce A.J., O'Loughlin C.L., 1985. Hillslope Stability and Land use. *Chapter 4, Natural factors affecting slope stability, 31-72. Water Resources Monograph Series 11, American Geophysical Union, Washington D.C., 140*

International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), 2000. Usoi landslide dam and Lake Sarez. *United Nation Publication, 101 pp*.

Valensise G., Pantosti D. (eds) (2001a). Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M 5.5 in Italy. *Annali di Geofisica*, suppl. 44(4), 2001.

Varnes D. J., IAEG Commission on Landslides, 1984. *Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. UNESCO Press, Paris, 63*.

Varnes D.J., 1958. Landslide types and processes. In: Eckel E.B., ed., *Landslides and engineering practice. National Research Council Highway Research Board Spec. Rept., Washington D.C., 29, 20-47*.

Varnes D.J., 1978, Slope movements, type and process. In: Schuster R.L., Krizek R.J., eds., *Landslides analysis and control. Transp. Res. Board., Special report 176, Nat. Acad. Press., Washington, D.C., 11-33*.

Verdin, K.L., J.P. Verdin, 1999. A Topological System for Delineation and Codification of the Earth's River Basins. *J. of Hydr., 218: 1-12*

Vivenzio G. (1788). *Istoria de' Tremuoti Avvenuti nella Provincia di Calabria Ulteriore e nella Città di Messina nel 1783. E di Quanto nella Calabria fu fatto per lo suo Risorgimento fino al 1787. Preceduta da una Teoria ed Istoria Generale dei Tremuoti*. II Edizione, Stamperia Reale, Vol. II, Napoli

Vogt, J.V. (Ed.), 2002. Guidance Document on Implementing the GIS Elements of the Water Framework Directive. *EC-JRC, (EUR 20544 EN) Luxembourg, 166 p*.
(<http://agrienv.jrc.it/publications/pdfs/GIS-GD.pdf>)

Vogt, J.V., R. Colombo, F. Bertolo, 2003a. Deriving Drainage Networks and Catchment Boundaries. A New Methodology Combining Digital Elevation Data and Environmental Characteristics. *Geomorphology 53: 281-298*.

Vogt, J.V., R. Colombo, M.L. Paracchini, A. de Jager, P. Soille, 2003b. CCM River and Catchment Database, Version 1.0. EC-JRC, (EUR 20756 EN). *Ispra, 30 p*.
(<http://agrienv.jrc.it/activities/pdfs/CCM-Report-EUR20756EN.pdf>)